

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Инженерная экология и безопасности жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Т. А. Кулагина
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2017г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Промышленная безопасность высоконагружаемых гидроотвалов
тема

20.04.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления

20.04.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

код и наименование магистерской программы

Научный
руководитель

подпись, дата

профессор, доктор. техн. наук
должность, ученая степень

Г. И. Кузнецов
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Н. Ю. Лунева
инициалы, фамилия

Рецензент

В.И. 22.06.17
подпись, дата

гл. ЭКОЛОГ
ОАО «Красноярскгеология»,
канд. техн. наук
должность, ученая степень

Д. А. Озерский
инициалы, фамилия

Красноярск 2017

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Луновой Нине Юрьевне

фамилия, имя, отчество

Группа ФЭ15-07М

номер

Направление (специальность) 20.04.01 Техносферная безопасность

код

наименование

Тема выпускной квалификационной работы
«Промышленная безопасность высоконагружаемых гидроотвалов»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР Г. И. Кузнецов профессор, доктор. техн. наук
ПИ СФУ кафедра «ИЭ и БЖД»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР:

- нормативно-правовая база;
- справочная литература;
- учебная литература;
- фондовые материалы.

Перечень разделов ВКР:

- 1 Общие сведения
- 2 Гидрологические условия
- 3 Моделирование плановой фильтрации
- 4 Локальная устойчивость
- 5 Моделирование гидрогеологической обстановки
- 6 Анализ и оценка риска аварий ГТС шламохранилища

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов, слайдов:

Лист 1 – Результаты работ. Моделирование плановой фильтрации карты №1

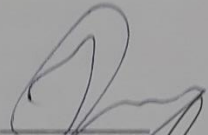
Лист 2 – Результаты работ. Моделирование плановой фильтрации карты №2

Лист 3 – Результаты работ. Моделирование плановой фильтрации карты №3

Лист 4 – Результаты работ. Локальная устойчивость

Лист 5 – Результаты работ. Моделирование гидрогеологической обстановки

Научный руководитель



подпись, дата

Г. И. Кузнецов
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению



подпись, дата

Н. Ю. Лунова
инициалы, фамилия

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения этапов ВКР

Сроки выполнения	Наименование и содержание этапа
01.09.2015 – 10.12.2015	Систематизация исследований геофильтрационных и геомеханических свойств шламов и натурных наблюдений, выполненных до августа 2015г.
12.01.2016 – 12.05.2016	Обоснование геофильтрационных и геомеханических параметров объекта, необходимых для расчета локальной устойчивости
16.10.2016 – 12.12.2016	Изучение материалов разведочного берения, построение расчетных профилей и расчет устойчивости
12.01.2017 – 17.03.2017	Составление предложений по конструктивно-технологическим параметрам шламохранилища
20.03.2017 – 12.04.2017	Работа над нормативно – правовой документацией; оформление пояснительной записки
17.04.2017 – 10.05.2017	Графическое оформление чертежей
15.05.2017 – 15.06.2017	Оформление прочей документации и доклада

Научный руководитель

Задание принял к исполнению

подпись, дата

подпись, дата

Г. И. Кузнецов

инициалы, фамилия

Н. Ю. Лунева

инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Реферируемая диссертация посвящена исследованию надежности и устойчивости гидротехнического сооружения в техносферной безопасности. Проблема работы связана с теми разделами инженерной экологии, которые изучают построение математических моделей относительно стационарных источников, а также непосредственное затопление и подтопление территории.

Актуальность исследования определяется разработкой комплекса мероприятий, обеспечивающих предотвращение затопления и подтопления территорий в зависимости от требований их функционального использования.

Целью работы является оценка влияния шламохранилища намывного типа высотой более 100 м на гидрогеологический режим в основании сооружения и на прилегающей местности методами натурных наблюдений и численного моделирования геофильтрационных процессов в системе основания-шламохранилища.

По результатам моделирования фильтрации выполненного на основе метода конечных разностей в плоско-вертикальной постановке через ограждающую дамбу шламохранилища определены показатели улавливания подшламовых вод в характерных сечениях с учетом, установленных полевыми откачками. Приближенным способом определен расход в дренаже при утечках из всех трех карт.

По результатам трехмерного моделирования получены гидродинамические карты, основным содержанием которых следует признать изменение гидрогеологических условий участка расположения шламохранилища на экологически более благоприятных после вывода из эксплуатации карты № 1 и после запуска карты № 3. На прилегающей территории намечается тенденция к осушению поверхности; области, занятые водоемами сокращаются. В зоне дренажной канавы наблюдаются снижение напоров, падение уровня воды в зоне осушения на внешней границе, что подтверждает эффективность этого мероприятия.

АННОТАЦИЯ

Реферируемая диссертация посвящена исследованию надежности и устойчивости гидротехнического сооружения в техносферной безопасности. Проблема работы связана с теми разделами инженерной экологии, которые изучают построение математических моделей относительно стационарных источников, а также непосредственное затопление и подтопление территории.

Актуальность исследования определяется разработкой комплекса мероприятий, обеспечивающих предотвращение затопления и подтопления территорий в зависимости от требований их функционального использования.

Целью работы является оценка влияния шламохранилища намывного типа высотой более 100 м на гидрогеологический режим в основании сооружения и на прилегающей местности методами натурных наблюдений и численного моделирования геофильтрационных процессов в системе основания-шламохранилища.

В первой главе «Общие сведения» описывается специфика карт.

Вторая глава «Гидрологические условия». Техногенный водоносный горизонт формируется за счет гравитационного перетекания поверхностных вод из прудков образующихся при сливе пульпы. Техногенный водоносный горизонт безнапорный.

В третьей главе «Моделирование плановой фильтрации» ведется описание, для практического решения плановой фильтрационной задачи шламохранилища применяется известная схема Дюпюи строения потока по вертикали: однородный по вертикали безнапорный поток, проводимость которого линейно зависит от его глубины, а водоупор имеет горизонтальное простирание.

В четвертой главе «Локальная устойчивость» представлен расчет устойчивости откоса локально, сечения 1-1 карты №2.

Пятая глава «Моделирование гидрологической обстановки» Объемная модель построена в программном комплексе Visual MODFLOW version 3.15. Глава шестая «Анализ и оценка риска аварий ГТС шламохранилища».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. Общие сведения.....	10
2. Гидрологические условия.....	14
2.1 Техногенные воды шламовых образований.....	14
2.2 Аллювиальный водоносный горизонт	16
2.3 Структура гидродинамического потока.....	17
3 Моделирование плановой фильтрации.....	22
3.1 Расчетные сечения карта №1	26
3.2 Расчетные сечения карта №2	28
3.3 Расчетные сечения карта №3	29
3.4 Построение модели.....	32
3.4.1 Физико-механические свойства грунтов.....	33
3.4.2 Сравнительный анализ результатов моделирования	35
3.4.3 Сечение по створу 1-1 карты №1	37
3.4.4 Сечение по створу 2-2 карты №1	40
3.4.5 Сечение по створу 1-1 карты №2.....	43
3.4.6 Сечение по створу 2-2 карты №2.....	45
3.4.6 Сечения по створам 2-2 и 5-5 карты №3.....	47
3.5 Расчет полного расхода шламохранилища	50
4 Локальная устойчивость накопителя.....	55
5 Моделирование гидрогеологической обстановки	58
5.1 Структура геофильтрационной модели	60
5.2 Варианты построения модели.....	61
5.3 Результаты моделирования.....	62
6 Анализ и оценка риска аварий ГТС шламохранилища.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является оценка влияния шламохранилища намывного типа высотой более 100 м на гидрогеологический режим в основании сооружения и на прилегающей местности методами натурных наблюдений и численного моделирования геофильтрационных процессов в системе основания-шламохранилища.

При проектировании инженерной защиты территории от затопления и подтопления надлежит разрабатывать комплекс мероприятий, обеспечивающих предотвращение, устранение отрицательных воздействий затопления и подтопления территорий в зависимости от требований их функционального использования и охраны окружающей среды.

Шламохранилище является высоконапорным гидротехническим сооружением, что обуславливает неизбежные фильтрационные потери и безусловное влияние на подземную гидросферу, и поверхностные воды. Динамика фильтрации проток в процессе заполнения карт шламохранилища постоянно меняется за счет увеличения и перераспределения напоров, а также уплотнения и консолидации грунтов и шлаков за счет возрастания статического давления.

Существует проблема затопления и подтопления городских, градостроительных, производственно-технических, коммуникационных, транспортных объектов.

Защита сельскохозяйственных земель и природных ландшафтов должна: способствовать интенсификации производства сельскохозяйственной, лесной и рыбной продукции; создавать оптимальные агротехнические условия; регулировать гидрологический и гидрогеологический режимы на защищаемой территории в зависимости от функционального использования земель; способствовать комплексному и рациональному использованию и охране земельных, водных, минерально-сырьевых и других природных ресурсов.

Глиноземный комбинат, осуществляет комплексную переработку нефелиновой руды с получением глинозема и другой сопутствующей

продукции, по величине валовых выбросов в атмосферу является предприятием I категории. В связи с этим, должно быть соблюдение правил и норм экологической безопасности для предотвращения загрязнения окружающей среды отходами, загрязнения поверхностных и подземных вод. Необходимо произвести оценку влияния возведения шламохранилища намывного типа высотой более 100 м на гидрогеологический режим в основании сооружений и на прилегающей местности методом численного моделирования геофильтрационных процессов в системе.

Шламохранилище, состоящее из карт №1, 2, 3, в территориальном отношении находится в г. Ачинске Красноярского края. Шламохранилище расположено на правом берегу реки Чулым, в западной части города. Шлам, складированный на шламохранилище, является отходами основного производства АГК. Доставляется на шламохранилище по пульпопроводам.

1 Общие сведения

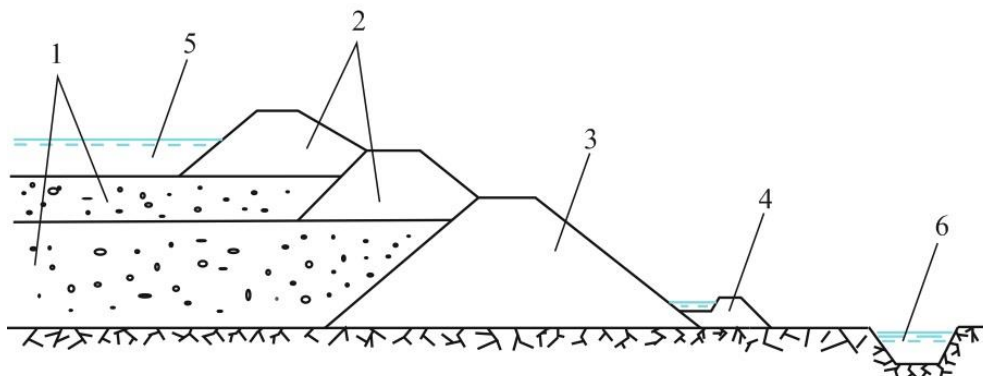
Хранилище - искусственная или естественная емкость - включает в себя комплекс сооружений, необходимых для складирования отходов обогащения руды.

Отходы обогащения металлической руды, так называемые хвосты-шламы, представляют собой несвязный материал, состоящий из различных по величине зерен раздробленных минералов. Для характеристики отходов до намыва в хранилище необходимо знать их зерновой и минералогический состав, плотность частиц (удельный вес), для намывных отходов - химический состав, степень вредности для окружающей среды. Кроме перечисленных, необходимо определять следующие характеристики:

- плотность грунта (объемный вес),
- пористость,
- влажность,
- сжимаемость,
- сопротивление сдвигу,
- фильтрационные свойства,
- теплофизические свойства.

Шламохранилище состоит из трех, огражденных дамбами карт. Карты №2 и №3 расположены в пределах пойменной террасы р. Чулым (рис. 1.2.) в целом на снимке можем наблюдать обширную обводненность территорий прилегающих к шламохранилищу, карта №1, в основном на I-й надпойменной террасе, примыкая юго-восточной дамбой ко II-ой надпойменной террасе. Карта № 1 располагается в южной части шламового поля АГК. С северо-западной стороны к ней примыкает карта №2, с северной - карта № 3. Основная производственная площадка глиноземного комбината расположена на расстоянии 3,5 км к юго-западу от жилых районов г. Ачинска. Мазульский известняковый карьер расположен на расстоянии около 4 км южнее от промплощадки комбината.

Мазутное хозяйство располагается на промплощадке и примыкает к шламохранилищу. Шламохранилище площадью 451 га расположено с северной стороны территории основной промплощадки комбината.



- 1 - отходы обогащения руды; 2 - вторичная дамба; 3 - первичная дамба,
4 – обводной канал, 5 жидкая фракция намываемого отхода,
6 – обводная канава.

Рисунок 1.1 - Дамба, ограждающая хранилище (однородного типа)

Возведение дамб ведется путем поэтапного наращивания ярусов (рис. 1.1.), карта №1 на протяжении всего периода работы предприятия возводится из мелкозернистых пород (суглинок и др.)

Рассмотрим возможные риски эксплуатации гидротехнических сооружений.

Таблица 1.1 - Факторы риска, виды аварий, последствия разрушения гидротехнических сооружений

Факторы риска (опасные явления)	<p>Стихийные: экстремальный сток, ледовые явления, опасные метеорологические явления (бури, ураганы, ливни, снегопады, смерчи и т.д.), долговременные изменения климата, землетрясения, оползни, обвалы, снежные лавины и сели.</p> <p>Антропогенные: ошибки проектирования, несоблюдение строительных норм и правил эксплуатации сооружений, непрофессионализм, халатность обслуживающего персонала, военные действия, террористические акты.</p>
Виды аварий	<p>Сверхнормативный сброс воды.</p> <p>Перелив через гребень дамбы.</p> <p>Повреждение или размыв тела дамбы и сопряжений с основанием.</p> <p>Нарушение фильтрационной прочности гидросооружений.</p>

	Нарушение устойчивости или чрезмерные перемещения сооружений. Неисправность, повреждение технологического оборудования.
Последствия	Формирование волн прорыва, затопление и подтопление местности в нижнем бьефе. Опорожнение шламохранилищ. Вытеснение воды из шламохранилищ при оползнях и обвалах, заполнение их наносами. Потери на фильтрацию через тело дамбы.
Сопутствующие процессы	Активизация геодинамических процессов: интенсивная эрозия в нижнем и верхнем бьефах, обрушение берегов соседних водотоков, деформация их русел и пойм. Возникновение «местных» очагов техногенной сейсмической активности. Залповое поступление загрязняющих веществ и наносов из разрушенных складов и хранилищ опасных токсичных веществ. Формирование застойных зон в мелководных отчленениях речных долин, возникновение экстремальных бактериологических ситуаций
Экологическая обстановка	Загрязнение поверхностных и подземных вод техногенными водами Нарушения жизни животных и растений на почвенном покрове

Специфика состояния карты №1 определяется высоким напором фильтрующихся вод в период намыва шламов и отрывом депрессионной поверхности зоны насыщения от прудка-водоема в период орошения поверхности шламового материала, в ходе которого основное движение вод происходит в вертикальном направлении. Это обуславливает снижение гидродинамических воздействий внутри массива шламов. Естественно, что при этом снижается расход воды через дамбу и основание, и как следствие, снижается активность негативных процессов, таких как, высачивание на низовой откос ограждающей дамбы и подтопление основания дамб и прилегающей территории.

В настоящий момент карта №2 шламохранилища характеризуется наращиванием ограждающих дамб. В секцию карты №2 осуществляется сброс шламов из системы гидрошламоудаления всего предприятия. Предусматривается дальнейшее наращивание сооружения дамбами, выполняющимися из шламов, осушенных в пляжной зоне секции. Особенностью эксплуатации второй карты является существование

экранирующего слоя в её основании и по борту внешнего откоса карты №1, служащего внутренним ограждающим элементом для карты №2.



Рисунок 1.2 - Обводненность территории на 05.12.2015

Карта №3 данного сооружения профилируется для приема шламовой пульпы от основного производства глиноземного комбината. Для этого в настоящее время ведутся работы по устройству ложа будущего накопителя, создается непроницаемый экранирующий слой из полимерного материала (пленка), в дальнейшем планируется возвести ограждающие дамбы из осушенных шламовых материалов, после чего карту №3 планируется запустить в работу. Необходимо отметить, что внешние откосы карт №1 и №2, являющиеся также внутренними откосами карты №3, также будут экранированы по той же технологии. Предусмотрена система отвода фильтрационных вод путем создания обводной дренажной канавы и экранированных внешних дамб.

2 Гидрологические условия

В гидрогеологическом отношении в районе размещения шламохранилища ОАО «РУСАЛ Ачинск» распространены техногенные воды шламовых образований. Общий поток подземных вод устремлен в северном и северо-восточном направлениях к региональной области разгрузки - руслу р. Чулым.

Структура гидродинамического потока сложна и изменена в результате создания дополнительных областей фильтрации в районах техногенных объектов ОАО «РУСАЛ Ачинск», шламохранилища, отстойников.

2.1 Техногенные воды шламовых образований

Техногенный водоносный комплекс образован в шламовых отложениях.

Шламы представляют собой слабо сцементированные пески (рис. 2.1.) в верхней части шламохранилища мощностью 2-7м и сцементированные пески различной мощности до основания карты. В толще шламохранилища отмечаются хаотичные прослои и линзы хорошо сцементированных песчаников.

Техногенные отложения сформированы в результате намыва и распределения шлама по фракциям. Выпадение крупных частиц происходило вблизи выпусков пульпы - по периферии сооружения, более мелкие фракции выносились в прудковую зону. В результате осадонакопления техногенные отложения в пределах шламохранилища образовали две зоны, различающиеся по своим фильтрационным и прочностным свойствам: первая – линзообразного, локального обводнения и вторая зона – сплошного обводнения, залегающая на глубинах 17.0-33.5 м.

Первый от поверхности водоносный горизонт линзообразного, локального обводнения по условиям залегания и циркуляции делится на: порово – пластового и трещинно – пластового типа. Распространен на глубину до 25.0 м.



а)



б)

Рисунок 2 – Шлам (а) водонасыщенный (б) сухой

Первыми от поверхности залегают порово – пластовые воды развитые в рыхлых несцементированных шламовых отложениях, мощность горизонта контролируется мощностью рыхлых шламов и достигает 2 – 6 м.

Ниже залегают трещинно – пластовые воды, развитые локально, в прослоях пористых и трещиноватых отложений шлама.

Вторая зона – сплошного обводнения вскрывается на глубинах 17.0 – 33.5 м. Относится к трещинно – пластовому типу.

Химический состав шламовых поверхностных вод и подземных вод техногенного водоносного горизонта карбонатно – гидрокарбонатный натриево – калиевый. Воды с высокой щелочной реакцией (РН 12 – 13).

Техногенный водоносный горизонт формируется за счет гравитационного перетекания поверхностных вод из прудков образующихся при сливе пульпы. Техногенный водоносный горизонт безнапорный.

Почти все отложения этих зон сцементированы и внешне напоминают песчаники, алевролиты и аргиллиты, за исключением верхнего слоя

мощностью 2,5-7 м (увеличение в сторону прудков), который представлен рыхлым, нецементированным свеженамытым шламом.

Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,21 м/сут (для нецементированных пород) до 0,08 м/сут в горизонтальном направлении (с нарастанием консолидации массива).

2.2 Аллювиальный водоносный горизонт

Распространен повсеместно, его мощность в пределах объекта 3-7 м, до 13 м в юго-восточной части в пределах II надпойменной террасы. Подземные воды в аллювиальных отложениях р. Чулым имеют двухчленное строение, соответствующее двум фациям - русловой и надпойменной. Русловая фация представлена гравийно-галечным горизонтом с песчаным заполнителем. Галька представлена кварцем, кварцитом, эффузивами и гранитами. Окатанность гальки и гравия совершенная. На пляжных участках гравийно-галечниковый горизонт слагает весь горизонт поймы. Гравийно-галечниковые отложения по содержанию фракций характеризуются следующими соотношениями: гальки – 30-50 %, гравия – 50-60 %, песчаных частиц – 20-40 %. Гравийно-галечниковый горизонт перекрывается сверху песками, супесями и суглинками. Среди литологических разностей преобладает песок пылеватый, мелкозернистый, переходящий книзу в средне- и крупнозернистый. Пойменная терраса изобилует старицами, протоками и старичными озерами, поэтому в разрезе отмечается присутствие илов, илистых суглинков, торфа.

Со времени проектирования шламохранилища принято считать, что в пределах влияния шламохранилища, горизонт подстилается условно водоупорными отложениями коры выветривания юрских отложений, однако это не подтверждено достаточными фактическими данными.

По химическому составу, на удалении от шламохранилища воды аллювиального горизонта гидрокарбонатные магниевые-натриевые с минерализацией 510-520 мг/дм³, рН 7,3-7,5, вблизи шламохранилища

химический состав воды приобретает пестрый характер. Водоносный горизонт используется населением для водоснабжения дачных участков, в основном, для полива. В зоне влияния шламохранилища отсутствуют водозаборы, использующие воду для питьевого водоснабжения.

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков в местах выхода на дневную поверхность и перетекания из соседних водоносных горизонтов, разгрузка – в реки и смежные горизонты. Наличие водоупорных слоев затрудняет гидравлическую связь с поверхностными водами, что в случае загрязнения обеспечивает транзит некондиционных вод на достаточно большие расстояния.

2.3 Структура гидродинамического потока

Структура гидродинамического потока сложна и изменена в результате создания дополнительной области фильтрации из шламохранилища и других гидротехнических объектов. Небольшие гидротехнические сооружения, пруды мазутного хозяйства, водохранилища, хотя и имеют относительно небольшие фильтрационные потери и вносят свой вклад в пополнение запасов подземных вод, но существенного влияния на структуру гидродинамического потока не оказывают. Фильтрация воды и растворов из карты № 1 шламохранилища, не имеющей противофильтрационного экрана, оказывает очень большое влияние, как на химический состав подземных вод, так и на структуру гидродинамического потока. Утечки воды и растворов являются единственным источником питания водоносного горизонта на занимаемой шламохранилищем площади. В связи с высоким напором подземных вод, распространенных на этой площади, транзитный поток подземных вод огибает его территорию с обеих сторон.

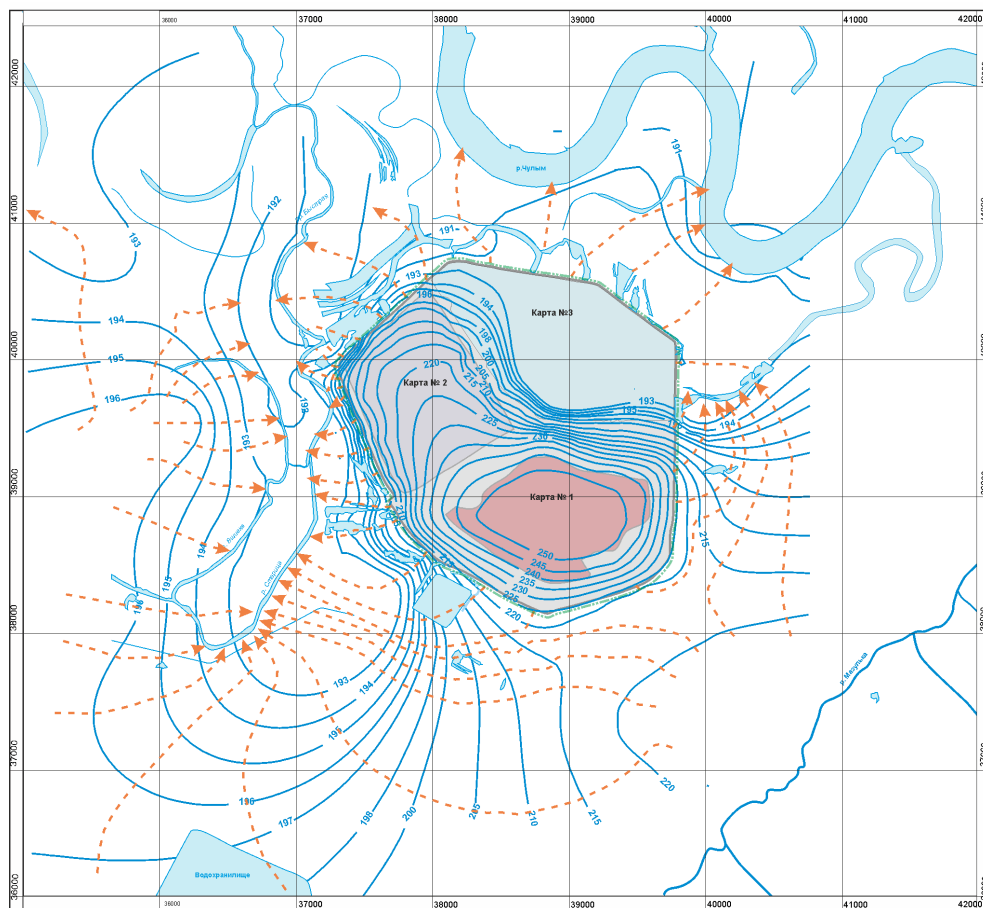
Непосредственно в теле шламохранилища поток подземных вод можно считать стационарным круглогодично, но имеющим весьма сложную трехмерную структуру. Вертикальная составляющая подземного потока имеет подчиненное значение, что обеспечивает существенное различие

уровней (напоров) подземных вод для разной глубины. Преобладающее горизонтальное направление движения подземных вод вызывает образование их многочисленных выходов по склонам насыпи, которые собираются в водоотводной канал. Так как поставленная для этой работы задача не включает детальное расчленение гидродинамического потока внутри шламохранилища, поток можно условно расчленить на вертикальный нисходящий (до кровли аллювиального водоносного горизонта) и плоско-радиальный до границ шламохранилища. Для определения величины расхода из этого участка горизонта, границы шламохранилища можно рассматривать как граничное условие первого рода, контур напора с известным градиентом задается уровнями в скважинах наблюдательной сети. Граничным условием второго рода является зона постоянного напора в теле карт шламохранилища (прудки намывной зоны), которые поддерживают постоянную стационарную нагрузку на аллювиальный водоносный горизонт.

За длительный период эксплуатации техногенные воды, за счет высокого напора, заполнили все поровое пространство водоносного горизонта, как под шламохранилищем, так и в прилегающей зоне, имеющей неправильную форму за счет неоднородности фильтрационных свойств аллювиального водоносного горизонта, обеспечив, таким образом, напорные свойства в песчано-гравийном пласте, зачастую перекрытом слабопроницаемыми суглинками и химически коагулированными песками.

Основное направление распространения линзы техногенных вод, поступающих с карты № 1 – северное. В южном направлении распространение этой линзы, по-видимому, происходит только в периоды отсутствия инфильтрационного питания, в теплый период происходит обратный процесс. На участке строительства карты № 3 существовал мощный подпор гидрогеологического течения вод в аллювиальном горизонте постоянной фильтрацией вод пруда-охладителя, который обуславливал обтекание фильтрата из карт №1 и № 2. Такое изменение

гидравлического давления в пласте, в том числе и за счет уплотнения подстилающих пород вследствие строительных мероприятий, может вызвать увеличение поступления загрязняющих компонентов из существующих линз профильтровавших растворов из карт № 1 и № 2.



Условные обозначения:





-  Гидроизогипса и ее значение, мБС.
-  Линия тока. Ленты тока проведены через 1 тыс. м³/сут
-  Граница зоны застройки
-  Граница шламового хозяйства ОАО "РУСАЛ Ачинск"

Рисунок 2.3 - Карта-схема изолиний тока подземных вод

Кроме того, под картой № 2 и 3 доказано существование гидравлической связи с водоносными слоями, что предопределило увеличение насыщения и формирование линз фильтрационных вод в аллювиальном водоносном горизонте. За счет этого основной поток из-под

карты № 1 перераспределится в северном направлении под карту № 3, где в условиях отсутствия подпора и исключения утечек посредством экранирования, должна образоваться недонасыщенная зона аллювиального водоносного горизонта, имеющего более низкие абсолютные отметки по сравнению с другими направлениями фильтрации.

В целом, по периферии шламохранилища, где часто наблюдаются скопления поверхностных вод, уровень основного аллювиального водоносного горизонта чаще залегает ниже дневной поверхности. Питание поверхностных водных скоплений, по-видимому, происходит через перекрывающие высоко водопроницаемые галечники и пески, суглинки и насыпные грунты, водопроницаемость которых в горизонтальном направлении на порядок выше, чем в вертикальном.

На удалении от шламохранилища взаимосвязь подземных вод аллювиального водоносного горизонта и поверхностных вод подчиняется естественным закономерностям – в зимний период подземные воды питают поверхностные. В любом случае поверхностные водные объекты являются гидродинамическими границами I рода.

В основном же структура гидродинамического потока претерпела заметные изменения на территории не более 200-400 м от дамб шламохранилища, что объясняется в целом небольшими по абсолютной величине фильтрационными утечками, сравнимыми по величине с инфильтрационным питанием горизонта на такой же площади.

Скорость распространения загрязняющих веществ зависит не столько от величины утечек, сколько от фильтрационных способностей горизонта и его условий взаимосвязи с поверхностными водами, при этом в поверхностных водах загрязнения распространяются несравнимо быстрее.

Таким образом, в результате производственной деятельности АГК, на территории примыкающей к шламохранилищу, изменения гидродинамической обстановки выражаются в следующем:

– транзитный подземный поток, подходящий к шламохранилищу, изменил направление движения с северного на восточное и западное. Изменение направления вызвало подъем уровня подземных вод в этих направлениях, в период половодий на этих участках отмечается подтопление территорий.

– в результате реконструкции и ввода карт № 2 и № 3 шламохранилища постоянно изменяются условия питания и фильтрации в аллювиальном водоносном горизонте, в том числе и за счет перераспределения поверхностного стока, ранее проходившего по его территории (рис.2.3).

– на месте водохранилища карты №3 осушено ранее существовавшее дополнительное гидрогеологическое подразделение – техногенный водоносный горизонт, служащее областью круглогодичного питания аллювиального водоносного горизонта. Теперь этого питания нет.

– на месте размещения карт № 1 шламохранилища установлено, что грунтовый подземный поток приобретает субнапорный характер. Движение подземных вод аллювиального водоносного горизонта в нижней части приобретает характер расходящегося плоскорадиального потока, за счет упорных свойств естественного потока и пород, подстилающих аллювиальные отложения. Тем не менее, существование водопора в основании сооружения или его частей не доказано.

– в результате получения дополнительного питания возросла величина разгрузки аллювиального водоносного горизонта в поверхностные водотоки и водоемы близлежащей локализации. Заболачивание территории прилегающей к шламохранилищу активно проявляется во время обильного снеготаяния и подъема уровня воды в р. Чулым, также нагружающего, либо подпирającego аллювиальный водоносный горизонт с северной стороны.

– образование техногенного водоносного горизонта привело к загрязнению аллювиального водоносного горизонта в зоне, примерно оцениваемой по результатам мониторинга подземных вод, до 350 м.

3 Моделирование плановой фильтрации

Для практического решения плановой фильтрационной задачи шламохранилища применяется известная схема Дюпюи строения потока по вертикали: однородный по вертикали безнапорный поток, проводимость которого линейно зависит от его глубины ($T=kh$), а водоупор имеет горизонтальное простираие. Несмотря на то, что схема Дюпюи имеет достаточно ограниченную область применения в однородных проницаемых пластах, ее использование в данном случае обосновано ввиду близкого к поверхности и сплошного по площади водоупорного пласта аллювиального четвертичного горизонта, выше которого все породы являются проницаемыми. Кроме того, для решения подобных задач в качестве основной преимущественно применяется схема Дюпюи (поток однородного строения на горизонтальном водоупоре).

Уравнение удельного расхода планового потока q в дифференциальной форме для любого направления l , соответствующего данной схеме, представляется:

$$q = -kh \frac{dh}{dl} = -k \frac{d\left(\frac{h^2}{2}\right)}{dl} \quad (3.1)$$

Данное уравнение для линейного потока имеет вид:

$$q = k \frac{h_0^2 - h_L^2}{2l} \quad (3.2)$$

из которой следует, что расход горизонтально-однородного безнапорного потока определяется как произведение коэффициента фильтрации на среднюю мощность потока и на средний градиент напора.

Для выполнения, гидрогеологических изменений на прилегающей к территории размещения шламового хозяйства с применением моделирования плановой стационарной фильтрации по указанной схеме Дюпюи следует обозначить основное направление исследований, как количественную оценку

расходных характеристик фильтрационных потоков в дренажную канаву из каждой секции шламохранилища в отдельности, относительно существующего и наиболее неблагоприятного при отсутствии природоохранных мероприятий воздействия сооружения на подземный водный бассейн.

Учитывая проектирование системы дренирования и отвода фильтрующих вод, следует считать, что произойдет снижение подпитки аллювиального горизонта.

Выявленная зарегулированность его основным водным объектом района р. Чулым проявляется в большей степени, нежели влияние высоконапорного шламового накопителя. В то же время сокращение утечек во внешнюю среду обусловит более стабильное и контролируемое состояние экологической обстановки в ближайшей локализации объекта, т.е. опасные подтопления прилегающих территорий при нормальной эксплуатации дренажа будут сведены к минимуму, за счет объективно возможного снижения уровней залегания подземных вод до зафиксированных на ранних этапах эксплуатации в зависимости от направления: до 191,5 – 192,0 м в ближайшей локализации карты № 3 и под ним, до 192,0 – 193,5 м – у карты № 2, и 192,0 – 195,0 м под картой № 1 и на прилегающей к ней территориях.

Также при развитии подобной ситуации следует ожидать существенного снижения радиуса химического воздействия шламохранилища на подземные воды.

При построении расчетных зависимостей для плановых потоков существенен характер зависимостей проводимости от напора. В безнапорных потоках проводимость более тесно связана с изменениями уровней воды, которые влекут за собой изменение глубины потока, а, следовательно, и мощности водоносного пласта.

Таким образом, в безнапорных пластах изменения проводимости оказываются зависимыми от условий формирования фильтрационного потока,

причем характер этой зависимости определяется строением потока по вертикали.

Выбор расчетных сечений обусловлен условиями эксплуатации, расположением выполненных в процессе полевых исследований пьезометрических створов, наличием крутых, потенциально опасных участков низового откоса, локальных проявлений фильтрационного высачивания, параметрами отстойного пруда вблизи дамбы (глубина воды, отметка поверхности и длина существующего надводного пляжа при проектной отметке уровня воды в пруде).

Для расчетов были выбраны наиболее характерные фильтрационные сечения, построенные на основании соответствующих и проектных инженерно-геологических разрезов по дамбам карт № 1, № 2 и № 3 шламохранилища (рис. 3.1).

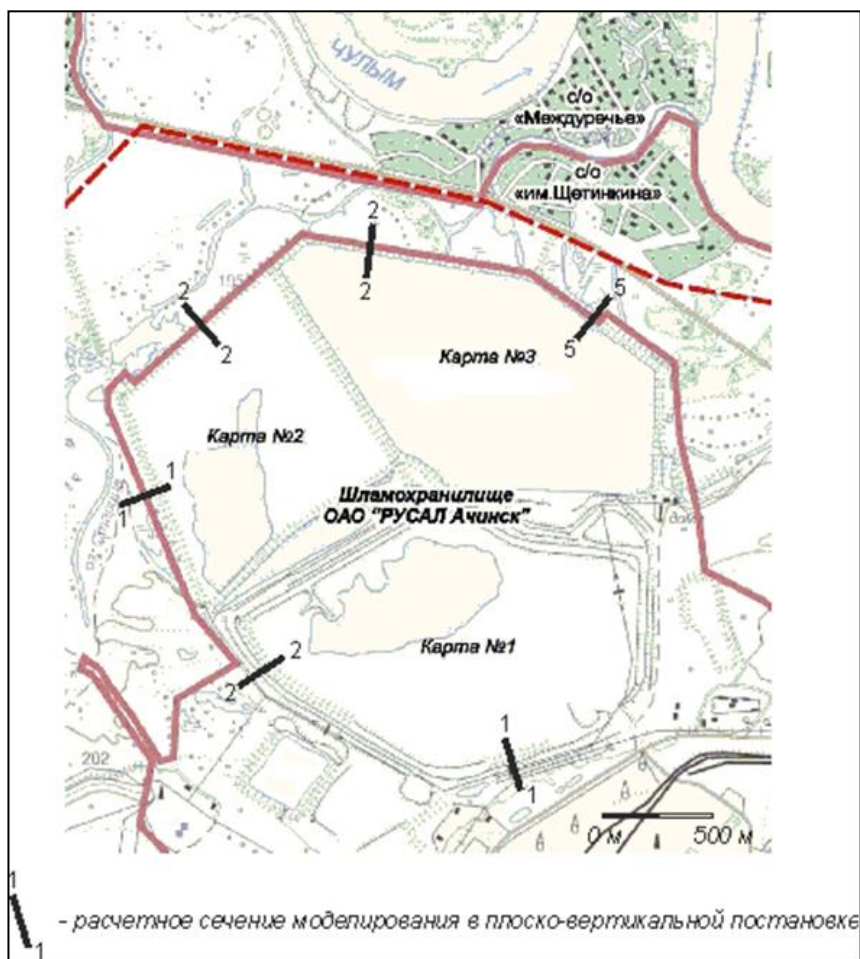


Рисунок 3.1 - Расположение расчетных сечений при моделировании
плановой фильтрации

Строение тела, основания дамб и массива шламовых отложений, физико–механические и фильтрационные характеристики грунтов и шламовых отложений назначены по материалам изысканий.

Для указанных сечений выполнены контрольные фильтрационные расчеты для двух режимов эксплуатации шламохранилища при стабильном уровне воды в отстойном пруде для каждой карты шламохранилища.

Моделирование фильтрации выполнено на основе метода конечных разностей в плоско-вертикальной постановке. Алгоритм и программа расчета учитывают все приведенные выше исходные данные. Сплошной грунтовый массив области фильтрации в математической модели рассматривается как дискретный, разделенный на определенное количество блоков.

Применяемый метод вычислительного моделирования фильтрационного режима системы «шламонакопитель – подземный водный бассейн – поверхностный водоток» позволяет учитывать следующие факторы и параметры:

- сложную конфигурацию внутренних и внешних границ расчетных областей фильтрационного поля;
- различные граничные условия, изменяющиеся при постепенном формировании массива шламохранилища;
- динамику поэтапного (поярусного) шламового массива.

Последовательность проведения расчета:

Контур сооружения заменяется условной прямоугольной областью.

Внутри этой области создаётся расчетная сетка. Количество узлов и размеры сетки назначаются произвольно.

По аналогам или на основании предварительного ориентировочного расчета назначается начальное положение депрессионной кривой.

Задается начальное приближение сеточной функции пьезометрического напора.

3.1 Расчетные сечения карта №1

Первая карта шламового хозяйства наращена до абсолютных отметок ограждающих дамб в 300 м при проектных величинах намыва в 312 м. Специфика данного сооружения определяется высоким напором фильтрующихся вод в период намыва и отрывом депрессионной поверхности зоны насыщения от прудка-водоема в период орошения поверхности шламового материала, в ходе которого основное движение вод к зоне насыщения осуществляется в вертикальном направлении. Это обуславливает снижение гидродинамических воздействий внутри массива шламов. Естественно, что при этом снижается расход воды через дамбу и основание, и как следствие, снижается активность негативных процессов, таких как, высачивание на низовой откос ограждающих дамб, подтопление основания дамб и прилегающей территории.

Учитывая проектируемое экранирование внешнего откоса дамбы первой карты на участках ее сопряжения со второй и третьей картами, наиболее опасными следует считать фильтрующие участки внешних ограждающих дамб первой карты в местах контакта с экранами карт № 2 и № 3 (по проекту). Эта тенденция также предварительно была установлена при составлении гидродинамических карт. На указанных участках создается выклинивание подземного потока в результате подпорного действия разделяющего полимерного экрана. Учитывая близкое расположение поверхностных водоемов и близкое расположение к поверхности вод аллювиального горизонта, можно говорить о возможности локального подтопления территорий сопряженных лишь с этими участками, однако такие процессы могут быть связаны, прежде всего, с экстремальными условиями эксплуатации сооружения – недостаточной шириной пляжа, аварийными размывами и т.п.

При моделировании выбранных сечений карты № 1 моделировались и рассматривались варианты с заложением дренажной канавы разной глубины (3,6 и 10,0 м) с изменением расстояния от оси канавы до уступа ограждающей дамбы (10, 20 и 50 м). В нескольких вариантах рассмотрена работа открытой

дренажной канавы с заданным уровнем воды. На рисунке 3.2 представлена принципиальная схема модели дренажной канавы для осушения первой карты:

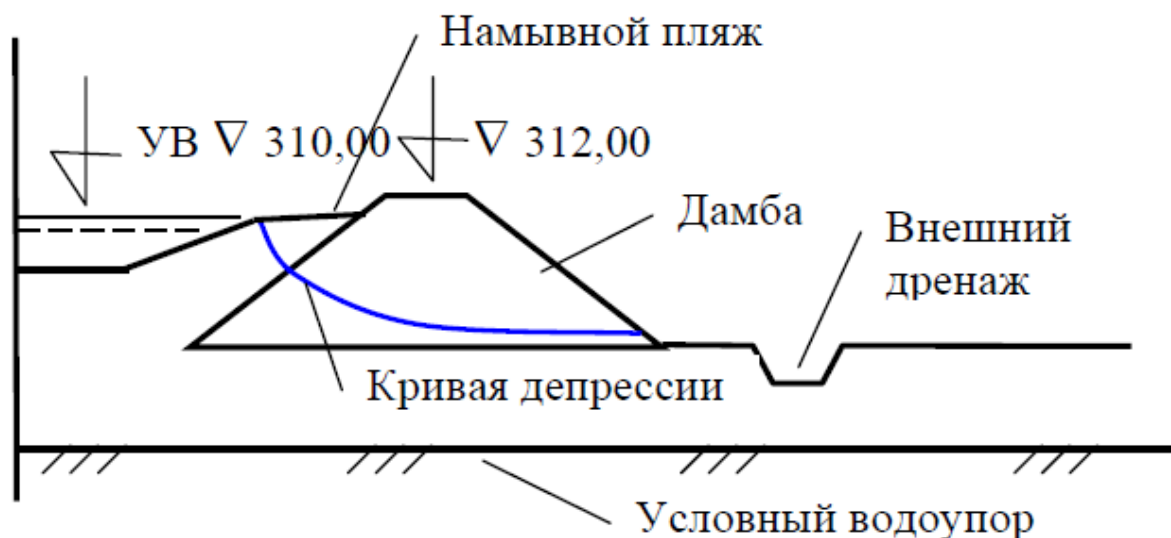


Рисунок 3.2 - Расчетное сечение карты №1, учитывающее действие внешней дренажной канавы у основания сооружения

Оба варианта модели учитывают абсолютную отметку 312,0 м путем возведения двух ограждающих дамб из намытого и осушенного шлакового материала высотой 9 м. Ширина пляжа варьируется в сечении 1-1 составляет 100 м, а в сечении 2-2 – 50,0 м. Геологические условия площадки принимаются по данным изысканий и мониторинговых наблюдений в сети режимных скважин.

Все, рассмотренные варианты являются прогнозными и учитывают проектируемое мероприятие по отводу фильтрующейся воды устройством внешней дренажной канавы. Учитывая невозможность создания экранирующей поверхности в основании сооружения, этот вариант осушения дамб и прилегающей территории представляется оптимальным, при том, что это совершенно не повлияет на фильтрационные потери из карты № 1 через основание сооружения. Однако можно с уверенностью говорить о снижении расхода в аллювиальный горизонт в ближайшей локализации (до 150 м) от первой карты.

3.2 Расчетные сечения карта №2

Существующее состояние карты № 2 шламохранилища характеризуется наращиванием ограждающих дамб до отметки 276,0 м. В эту секцию осуществляется сброс шламов из системы гидрошлакоудаления всего предприятия.

Проектом предусматривается дальнейшее наращивание сооружения до отметки 278,0 м дамбами различной высоты, выполняющимися из шламов, осушенных в пляжной зоне секции. Особенностью эксплуатации второй карты является существование экранирующего слоя в основании карты и по борту внешнего откоса карты № 1, служащего внутренним ограждающим элементом для карты № 2. Внешние ограждения и ложе карты экранированы. Такое конструктивное решение объясняется необходимостью предотвратить загрязнение окружающей среды подшламовой водой.

При расчетном моделировании карты № 2 принято предположение о фильтрации с учетом непрогнозируемых возможных нарушений целостности противифльтрационного экрана на локальных участках водоотводной зоны. Воды в аллювиальном водоносном горизонте приобретают свойства подшламовых вод вследствие длительного воздействия работы карты №1, не имеющей противифльтрационного экрана.

Для оценки работы дренажной системы в основании водоотводной зоны карты № 2 заложены водопроницаемые участки в противифльтрационном экране произвольных размеров.

Для карты № 2 построение геофильтрационной модели следует выполнять для двух ограждающих дамб (сечения 1-1 и 2-2), через которые осуществляется фильтрация воды в экранированную обводную канаву. И далее в дренажную канаву глубиной от 3 до 9-10 м метров. Дренажная канава устроена таким образом, чтобы вода самотеком направлялась в приямок насосной станции, откачивающей ее в систему оборотного водоснабжения.

В связи с этим, постановка численного моделирования выполняется для карты № 2 в трех вариантах по глубине канавы (3,6 и 10,0 м) и в трех вариантах (10, 20 и 50 м) по расстоянию оси дренажа от подножья ограждающей дамбы водоотводной зоны (рис. 3.3).

Эти варианты позволяют рассмотреть прогноз эффективности применения сбора фильтрата у подножья ограждающей дамбы в обводной дренажной канаве, а также позволяет подтвердить расходные характеристики потока, что необходимо для выбора технологических решений, технических характеристик насосной станции и сечения трубопроводов.

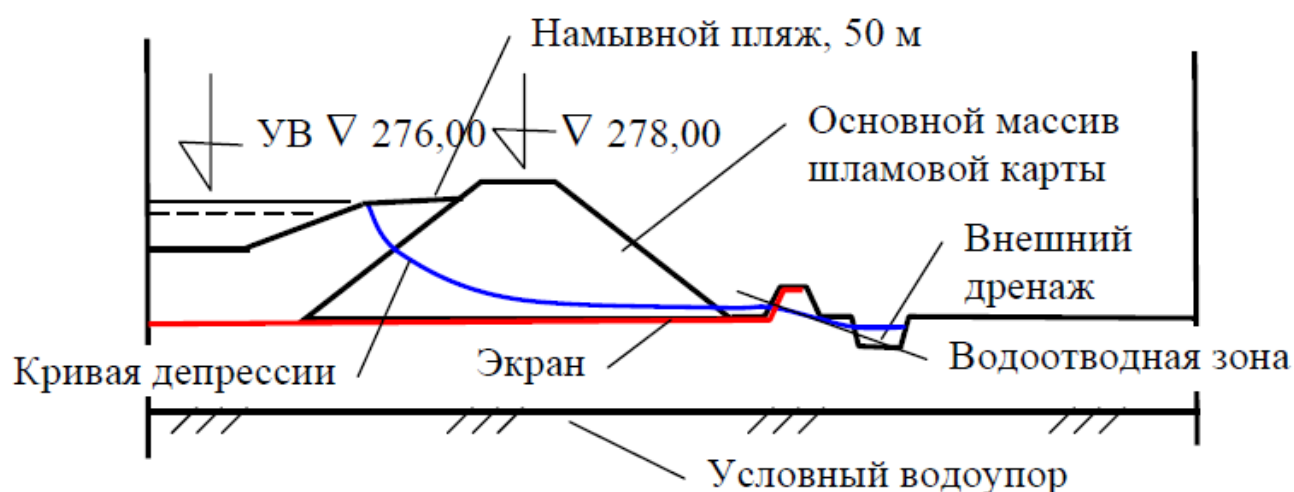


Рисунок 3.3 - Расчетное сечение карты №2, учитывающее действие внешнего дренажа и полимерного экрана в основании сооружения

Варианты численного моделирования учитывают конструктивные особенности карты № 2 шламохранилища, заданные изыскательской документацией: заложения откосов ограждающих существующих и проектируемых дамб, ширину надводного пляжа с уклоном в сторону прудка, уровень воды в прудке, коэффициенты фильтрации намывных, насыпных и естественных грунтов.

3.3 Расчетные сечения карта №3

Карта № 3 на сегодняшний день находится в процессе возведения.

Использование данного сооружения предусматривается для приема шламовой пульпы от основного производства глиноземного комбината. Для этого планируется осушить существующий искусственный водоем, подготовить и спланировать ложе будущего накопителя, создать непроницаемый экранирующий слой из полимерного материала, возвести ограждающие дамбы из осушенных шламовых материалов, после чего карту № 3 шламохранилища планируется запустить в работу.

Необходимо отметить, что внешние откосы карт № 1 и № 2, являющиеся также внутренними откосами карты № 3, также будут экранированы по той же технологии. Аналогично второй карте будет устроена система отвода фильтрационных вод путем создания обводной дренажной канавы и экранированных внешних дамб сооружения.

Сочетание конструктивных решений по отводу фильтрующихся вод и экранированию основания, по проекту, исключает воздействие карты № 3 на гидрогеологические условия района исследований. Тем не менее, для моделирования фильтрации выбирается вариант непрогнозируемых возможных нарушений целостности противофильтрационного экрана на локальных участках водоотводной зоны и прямое воздействие карты на подземный водоносный горизонт.

Моделирование фильтрационного воздействия на гидрогеологический режим проводится в аналогичных карте № 2 вариантах, позволяющих оценить поступление фильтрационных вод из сооружения в приближенном к существующему состоянию и в проектируемом варианте с применением внешнего дренажа и экрана в ложе шламохранилища. В первом варианте рассмотрена работа изолированной третьей карты при отсутствии утечек.

Второй вариант позволяет оценить воздействие рассматриваемой третьей карты на гидрогеологическую среду участка в его окончательном виде, при возведении до отметки 278,0 м намывной карты и установившемся фильтрационном режиме питания подземных вод утечками из водоотводной зоны карты № 3 для изучения параметров водопроводимости подстилающего

водоносного горизонта при максимальном критическом объеме поступающей в него воды.

Этот вариант позволяет оценить эффективность природоохранных мероприятий расчетом уловленного дренажем расхода фильтрата. Схемы фильтрационной модели представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

Варианты заложения канавы аналогичны моделированию фильтрации из карты № 2. Открытые и закрытые дренажные канавы варьируются по глубине (3,6 и 10,0 м) и расстоянию от подножья ограждающей дамбы (10, 20 и 50 м).

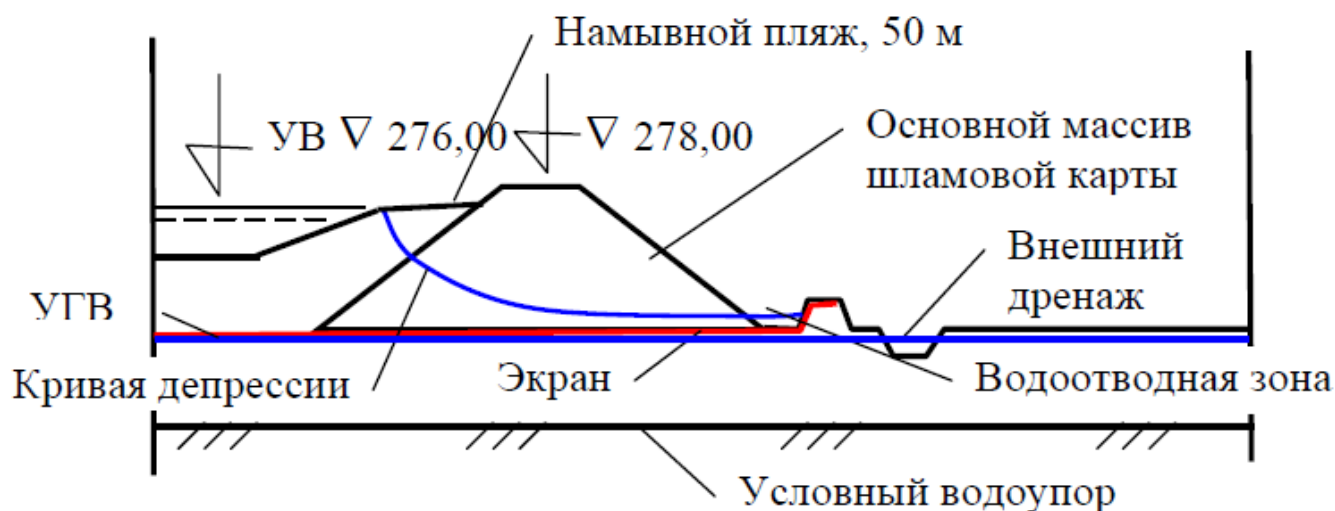


Рисунок 3.4 - Расчетное сечение карты №3 с учетом наращивания карты до высоты 278,0 м и экранированным ложе основания

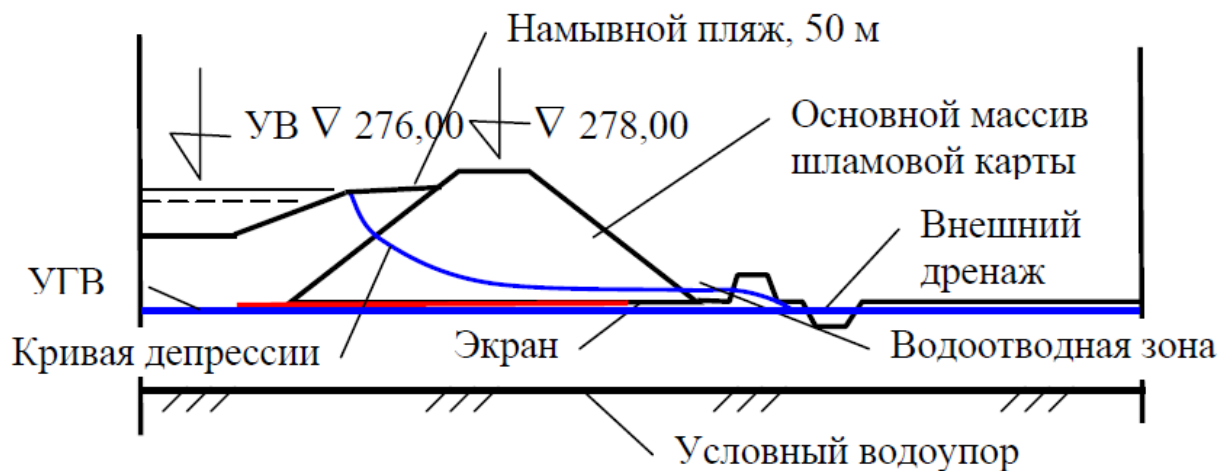


Рисунок 3.5 - Расчетное сечение карты №3 с учетом наращивания карты до высоты 278,00 м и утечками через экран

3.4 Построение модели

Численная модель построена в программном комплексе, апробированном на аналогичных объектах путем сопоставления прогнозируемых и фактических параметров. Дискретизация выполнена квадратными ячейками с изменяемыми длинами сторон. Количество блоков в сечениях зависит от сложности геометрии поперечного профиля сооружения, количества структурных элементов в каждом сечении. С учетом того что в разрезе содержится от 8 до 12 расчетных слоев, схожие по природе и проницаемости элементы объединяются в общий слой (таблица 3.1.).

Таблица 3.1 - Структура модели

Карта шламохранилища	Сечение	Количество ИГЭ	Разбивка блоков	Количество ячеек
Карта №1	1-1	8	70 x 45	3150
	2-2	12	63 x 41	2583
Карта №2	1-1	12	62 x 37	2294
	2-2	12	62 x 37	2294
Карта №3	2-2	13	113 x 44	4972
	5-5	12	113 x 49	5537

Нижняя граница модели определена верхней границей относительно водоупорного пласта в основании современного аллювиального горизонта в соответствии с материалами изысканий и с использованием скважин режимной сети (отметки приводятся в балтийской системе высот).

Геофильтрационная схематизация выполнена с учетом реальных гидрогеологических условий и взаимодействующих с ними техногенных элементов. В ней использованы данные о геологическом строении, водно-физических и физико-механических свойствах грунтов площадки расположения шламохранилища.

Для каждого структурного элемента приняты исходные расчетные показатели водопроницаемости и пределы их изменения; свойства задаются по результатам лабораторных испытаний и не зависят от направления движения подземных вод. Главными режимообразующими факторами на

изучаемой территории служили отметки уровней воды в скважинах ближайших или соответствующих назначенным расчетным сечениям, либо уровни поверхностных вод в поверхностных водоемах (старице или протоках) – в нижнем бьефе сооружения, и проектные отметки прудка в каждой из намывных карт шламонакопителя – в верхнем бьефе.

В связи с тем, что уровни воды максимальны и постоянны для оценки наиболее неблагоприятного воздействия шламохранилища на окружающую среду, в расчетах применяется уравнение стационарной фильтрации.

Поверхности расчетных слоев осложнены строительными конструкциями ограждающих дамб нескольких ярусов наращивания, размеры которых различны в разных ярусах. Существующая поверхность борта была усреднена (таблица 3.2), отдельные дамбы на ней не прорисовывались, т.к. многолетняя эксплуатация существенно изменила профиль. В связи с тем, что дамбы производились из осушенного шлама, подвергшегося механическим воздействиям, осреднение нижележащих слоев является вполне оправданным.

Таблица 3.2 - Заложения откосов объединенных упорных призм

Карта шламохранилища	Сечение	Заложение откоса
Карта №1	1-1	1:2,42
	2-2	1:2,62
Карта №2	1-1	1:2,79
	2-2	1:2,78

Дамбы наращивания, предусматриваемые проектом строительства карты № 3, детализировались полностью, отдельно от прилежащих к ним слоев и друг от друга, что также является вполне обоснованным для построения прогнозной геофильтрационной модели.

3.4.1 Физико-механические свойства грунтов

В аллювиальных отложениях водовмещающими породами являются пески и песчано-гравийные отложения. Этот горизонт является основным водным объектом, служащим приемником и проводником для фильтрационных утечек из шламохранилища.

Элювиальные грунты представлены песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами выветрелыми до состояния суглинков тугопластичных – твердых и супесей пластичных - твердых.

Подземные воды, развитые в элювиальных отложениях, вскрываются по периметру шламохранилища, при переходе суглинков и супесей пластичных к твердым.

Согласно проектной документации, в районах расположения исследуемых сечений обнаруживаются грунты разных возрастных геологических структур.

Алевролиты и их производные с установленными слабопроницаемыми и водонепроницаемыми свойствами определяются в постановке гидродинамической задачи II рода как водоупор.

Техногенные грунты представлены несцементированными и сцементированными шламами разной степени проницаемости.

Проектируемые намывные ярусы шламов задаются более проницаемыми, а существующие на сегодняшний день – с более низкими фильтрационными характеристиками, ввиду консолидации под действием гидростатического давления и веса верхних слоев. Свойства грунтов основания также неоднократно изучались и имеют достаточно высокую достоверность параметров (таблица 3.3.).

Таблица 3.3 - Коэффициенты фильтрации грунтов, используемые при построении геофильтрационной модели

Наименование грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водопроницаемость по ГОСТ 25100-2011
ИГЭ 1а. Шлам несцементированный, в виде песка среднезернистого	0.21	слабоводопроницаемый
ИГЭ 1б. Шлам сцементированный, очень низкой прочности	0.18	слабоводопроницаемый
ИГЭ 1б. Шлам сцементированный, средней прочности	0,08	слабоводопроницаемый
ИГЭ 5. Суглинок текучепластичный природный	0.0058	слабоводопроницаемый
ИГЭ 5а. Суглинок полутвердый слабосцементированный	0,01	слабоводопроницаемый

Наименование грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водопроницаемость по ГОСТ 25100-2011
ИГЭ 6. Пески супеси пылеватые, мелкозернистые	0.56 – 1.82	водопроницаемые
ИГЭ 8. Пески гравелистые	0,59 – 2,8	водопроницаемые
ИГЭ 10. Гравийный грунт с суглинистым и песчаным заполнителем	2.58 – 12.77	водопроницаемые - сильноводопроницаемые
ИГЭ 7. Алевролит выветрелый	0.0001	водонепроницаемый
ИГЭ 7а. Алевропесчаник выветрелый	0.0619 – 0.39	слабоводопроницаемые
ИГЭ 9. Песчаник выветрелый	0.37 – 0.60	водопроницаемые

3.4.2 Сравнительный анализ результатов моделирования

Результаты фильтрационных исследований представлены в форме полных гидродинамических сеток, построенных для девяти сравниваемых вариантов по каждому расчетному сечению.

На фильтрационных сетках выделены:

- уровни воды в верхнем водоеме (отстойный пруд) определяющие верхнее граничное условие (контур питания);
- ширина пляжа (50, 100 м);
- уровни воды в дренаже и уровни грунтовых вод, определяющих нижнее граничное условие (контур стока);
- линии равных напоров (экипотенциали), построенные программным комплексом;
- депрессионные кривые (свободная поверхность фильтрационного потока), также построенные численной моделью;

В результате расчета был построен расчетный контур сооружения из слоев грунтов основания, верхнее граничное условие – проницаемая поверхность верхового откоса и дна накопителя с контуром питания в виде прудковой зоны заполненной карты шламохранилища. Полученные расчетом кривые депрессии, линии равных напоров и построенные графическим способом линии тока также отражены на полной гидродинамической сетке. При этом соблюдена закономерность пересечения этих линий токов с экипотенциалами и контурами питания.

Для моделей фильтрации находится удельный расход через дамбу и ложе накопителя по формуле, м³/сут·м:

$$q = k_{cp} \times \frac{\Delta H}{l} \times 1 \text{ м}^2, \quad (3.3)$$

где k_{cp} – среднее значение коэффициента фильтрации, м/сут; ΔH – перепад напоров, м; l – расстояние между напорами, м.

Полученные эквипотенциали позволили провести расчет локального расхода фильтрата в заданном сечении. Полный расход определяют по формуле (3.4), м³/сут:

$$Q = q \times l, \quad (3.4)$$

где q – удельный расход, м³/сут·м; l – длина дамбы, м.

Основной характерной особенностью всех рассмотренных вариантов стала малая изменчивость поверхности потока в отдельно взятом сечении. Депрессионная кривая располагается примерно на одном уровне как в случае дренирования основания у подошвы дамбы, так и в случае его отсутствия. Подобная картина объясняется достаточно большой мощностью моделируемых сооружений. В случае карты № 1 мощность намытых шламов (свыше 100 м) намного превышает напорный столб воды в прудке. Естественно, что такой относительно малый напор в зоне питания создает насыщенную зону такой геометрии в основном за счет особых свойств водопроницаемости мелкодисперсного шлама: преобладание тонких фракций, относительно высокая пористость и поверхностная активность, и как результат, высокое влагонасыщение. Потому и устройство дренажа с откачкой воды в нижнем бьефе сооружения не снижает уровни воды на отдельных участках дамбы. Несмотря на такую закономерность, устройство внешней дрены показывает высокую эффективность улавливания фильтрационных вод. Проектируемая обводная дренажная канава способна улавливать и отводить часть потока, предупреждая обводнение зоны у подошвы дамбы и загрязнение подземного горизонта.

Следует отметить, что полученные результаты по вариантам глубины и оси заложения канавы представлены в наиболее оптимальных сочетаниях. При моделировании и натурном обследовании было выяснено, что построение открытой канавы глубиной более 3 метров проблематично чисто технически, т.к. при устройстве опытного котлована фиксировались негативные экзодинамические процессы: оплывание суглинков и просадки и обваливания бортов песчано-гравелистых грунтов. Более глубокие канавы 6 и 10 м могут быть только закрытыми, однако общее затопление дренажа, зафиксированное для этих канав, может негативно сказаться на их эксплуатации.

Расстояние расположения оси канавы относительно ограждающих дамб, обеспечивающее оптимальные параметры работы дренажной системы – 20 м. При дальнем расположении канавы не осушается ближняя к дамбе зона. Близкое расположение канавы (10 м) нецелесообразно, т.к. в этом случае она находится в зоне противифльтрационного действия водосборной зоны и не выполняет своего основного назначения. Поэтому, результаты моделирования представляются в вариантах 3-х метровой дренажной канавы на расстоянии 20 м от подошвы шламохранилища и 6-и метрового закрытого дренажа на том же расстоянии.

3.4.3 Сечение по створу 1-1 карты №1

В результате многолетней эксплуатации карты № 1 шламохранилища в ее основании произошли необратимые деформации подстилающих слоев и скелета грунтов, благодаря чему проявилось снижение их фильтрационных свойств. Кольматация порового пространства усугублена химическими реакциями грунтовых частиц с подшламовыми растворами. В результате моделирования низкопроницаемых слоев в основании карты №1 фиксируются высачивания во всех рассматриваемых вариантах.

Положение депрессионной поверхности в теле насыпи практически не зависит от наличия внешней водосборной канавы, что связано с постоянством контура питания, большой мощностью массива шламов и, возможной связью

нисходящего потока с нижележащим юрским водоносным горизонтом. Следовательно, расход вод из прудка через дамбу является величиной установившейся (квазистационарной). Для задач проектирования дренажной канавы или закрытого (скважинного) дренажа такая картина существенно облегчает моделирование, т.к. глубина заложения выбранного противифльтрационного мероприятия будет связана с величинами уловленных им объемов прямо пропорционально.

Особенностью карты № 1 относительно карт № 2 и № 3 является достаточно высокий по абсолютным отметкам уровень поверхности земли, что выражается в отсутствии подтоплений территории. Кроме того, большая часть этих территорий входит в границы промплощадки и занята коммуникациями. Скорее всего, дренажная канава с восточной стороны по этой причине не будет проектироваться, однако моделирование и расчеты в данном сечении проводились в полном объеме, в т.ч. для более высокой детализации прогнозной гидродинамической карты.

Расчетные сечения представлены для двух наиболее показательных вариантов обустройства дренажа глубиной 3 м и 6 м (рис. 3.6 и 3.7). На рисунках видно, что расположение кривой депрессии находится достаточно глубоко в массиве, что вызвано высокой проводимостью аллювиальных песков и гравия, которые, не смотря на кольматацию, обеспечивают ток фильтрующих вод.

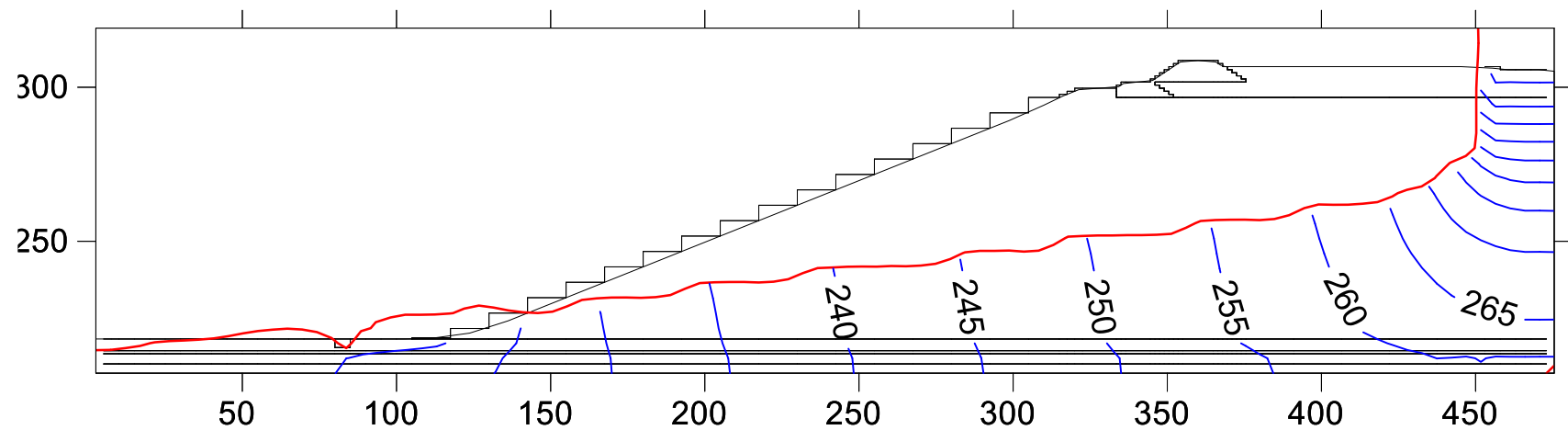


Рисунок 3.6 - Сечение 1-1 Карты №1. Вариант дренажной канавы глубиной 3 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

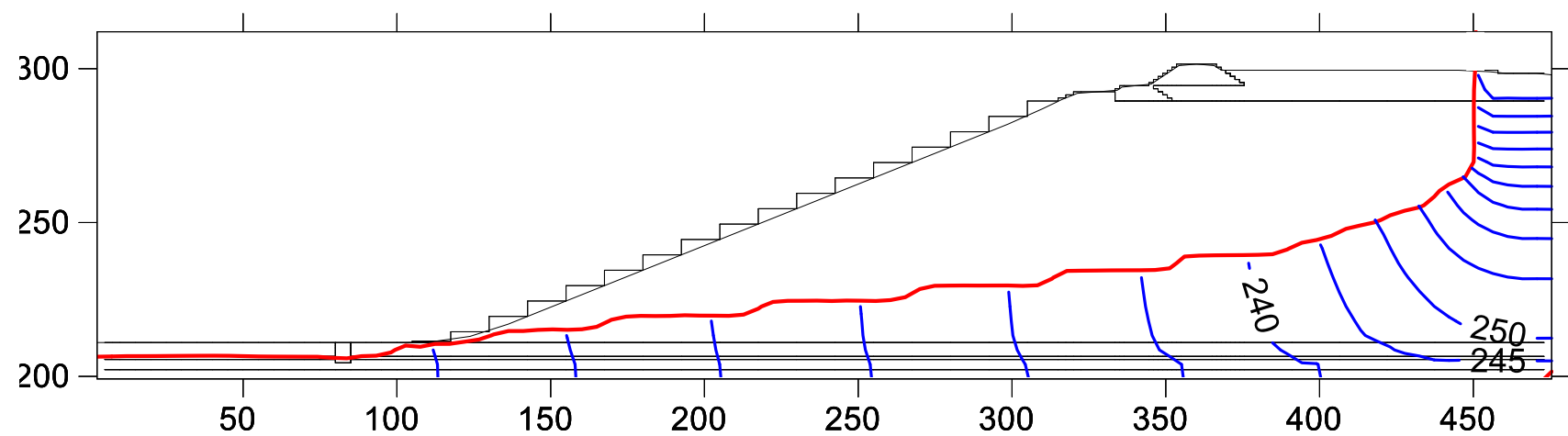


Рисунок 3.7 - Сечение 1-1 Карты №1. Вариант дренажной канавы глубиной 7 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

Рассматривая особенности конструкции дренажной канавы в районе расчетного сечения 1-1 карты № 1, визуально четко представлена более эффективная работа более глубокой канавы. В первую очередь это определяется вскрытием горизонта речных и гравелистых песков. Канавы, устроенная в слабопроницаемых суглинках, осушит лишь поверхность, что не позволит достичь желаемой эффективности дренажа. Судя по результатам моделирования, такая канава будет полностью затоплена водой, т.к. внешними факторами она не зарегулирована. Более глубокий дренаж, более 5 м, будет сообщаться с горизонтом и уровень в ней ожидается на уровне воды в наблюдательных скважинах территории, т.е. ниже дневной поверхности.

Удельный расход рассчитан по формуле 3.3. В первом варианте удельный расход составил $0,34 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$. Более глубокая канава (6 м) же обеспечивает улавливание $0,436 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$, в то время как общий расход составил – $2,882 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$. Соответственно объем уловленной воды составит около 10-15 % общего расхода. Данный показатель безусловно низкий, однако именно в этом сечении уровень грунтовых вод достаточно низкий относительно поверхности и проектирование канавы, скорее всего, нецелесообразно.

3.4.4 Сечение по створу 2-2 карты №1

Основание карты №1 в районе сечения 2-2 в целом схожи с сечением 1-1. Отличием является более низкий уровень поверхности, особенно на участке сопряжения с картой № 2, где уже достаточно сильно выражены заболачивания и затопления поверхностных приямков и понижений рельефа.

Согласно фактическим материалам ширина пляжа в данном сечении будет снижена до 50 м, т.е. зона питания потока расположена ближе к ограждающим дамбам последних этапов наращивания. Тем не менее, из результатов расчетов видно, что дамбы наращивания подтоплению не подвергаются, а участок высачивания обнаруживается близко к подошве дамбы (рисунки 3.8, 3.9). Вариант 3-х метровой канавы, также как и в случае

сечения 1-1, не достигает уровня подошвы суглинистого перекрывающего слоя и не выполняет функцию дренажа. Поверхность обводнена, а уровень воды в канаве – максимальный, выше земной поверхности. При ее проектировании предлагается строить ее глубже указанных размеров, что подтверждается вариантом с 6-и метровой канавой, где видно осушение ближайшей к канаве локализации на расстояние 15-25 м.

Такая канава позволит уловить около 35% объема фильтрующих вод, что численно равно $0,703 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$, при утечках в этом же сечении $1,9 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$. В то же время дренаж малой глубины (3 м) – низкоэффективен. Удельный уловленный им объем – $0,18 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$, что менее 10% суммарного потока через дамбу. Данный вариант к проектированию не рекомендуется.

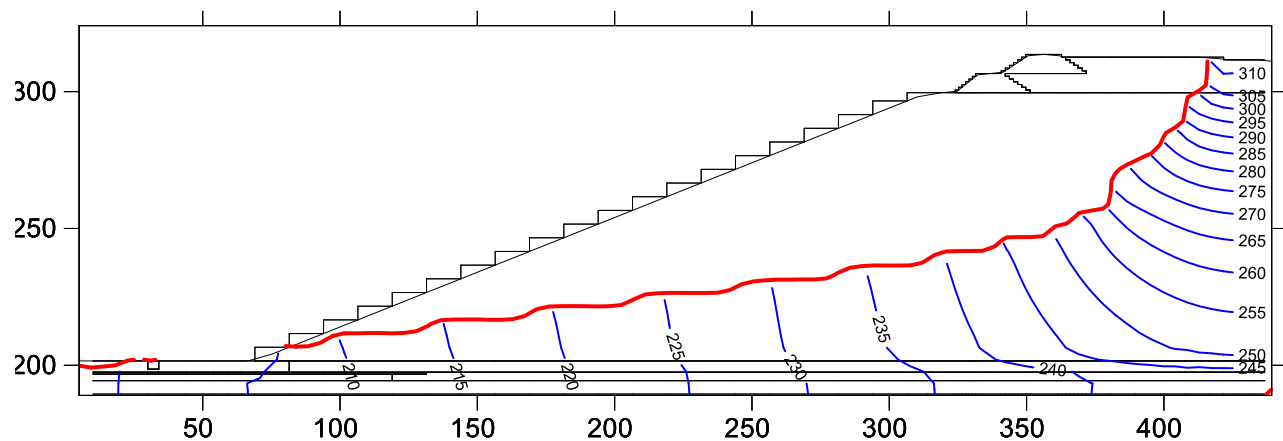


Рисунок 3.8 - Сечение 2-2 Карты№1. Вариант дренажной канавы глубиной 3 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

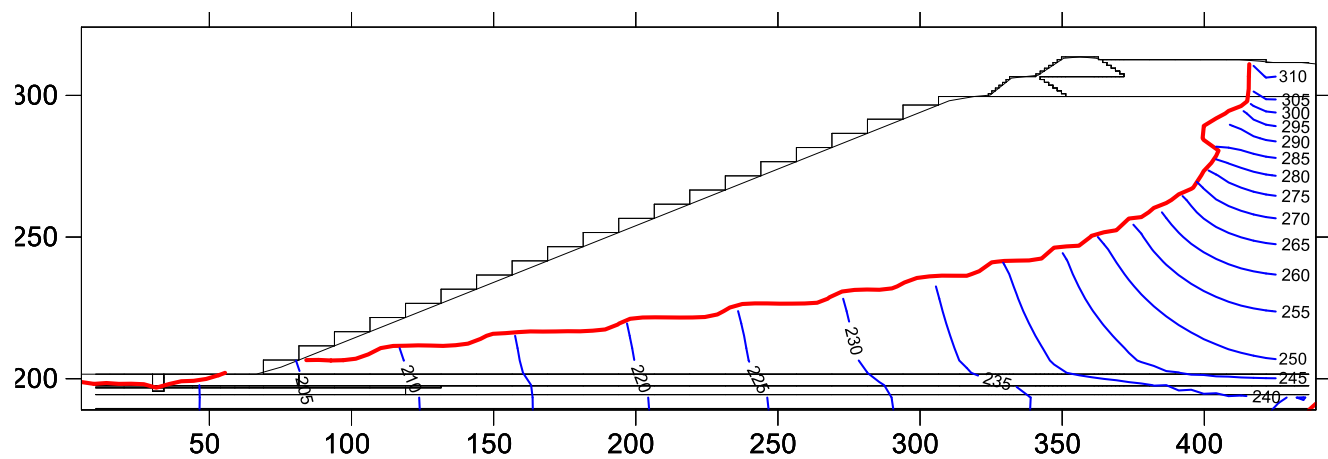


Рисунок 3.9 - Сечение 2-2 Карты№1. Вариант дренажной канавы глубиной 6 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

3.4.5 Сечение по створу 1-1 карты №2

Моделирование карты № 2 шламохранилища ОАО «РУСАЛ Ачинск» выполнялось с учетом данных по ее эксплуатации в составе шламового хозяйства. Предполагается, что противофильтрационный экран в основании водоотводной зоны этой карты был поврежден. Экран при аппроксимации разреза дамбы задавался с проранами свободной геометрии, затянутыми шламообразным мелкодисперсным материалом, находящимся в вышележащем слое.

Водоотводная зона, созданная для улавливания дренажных вод и перекачки других производственных стоков, задана заполненной водой на $1/2 - 2/3$.

Изученное природоохранное мероприятие на модели показало достаточно эффективную работу с любыми заданными параметрами самой канавы. И трехметровая и шестиметровая дренажные канавы справляются с потоком загрязненных вод и осушают прилегающие территории на 20-30 м по сечению. Данный результат указывает на дополнительную защиту от подтоплений территории, которую оказывает дренажная канава. Сочетание этих мероприятий увеличивает эффективность мероприятий по осушению территории, прилегающей к шламовой карте № 2.

Общий расход из данной карты шламохранилища, в предположении нарушения экрана водоотводной зоны и более высоким параметрам проницаемости основания, составил $2,795 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$.

Объем воды, улавливаемой дренажной канавой в первом варианте расчета - $0,628 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$, во втором – $2,146 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$.

Сочетание двух дренажных элементов обладают высокой эффективностью при перехвате потока более глубокой канавой. Этот режим гораздо более благоприятен в отношении скоростей течения вод, массопереноса возможных загрязнителей и, как следствие, снижением площадей влияния подшламовых растворов на состояние природных водоемов и водотоков территории (рис. 3.10, 3.11).

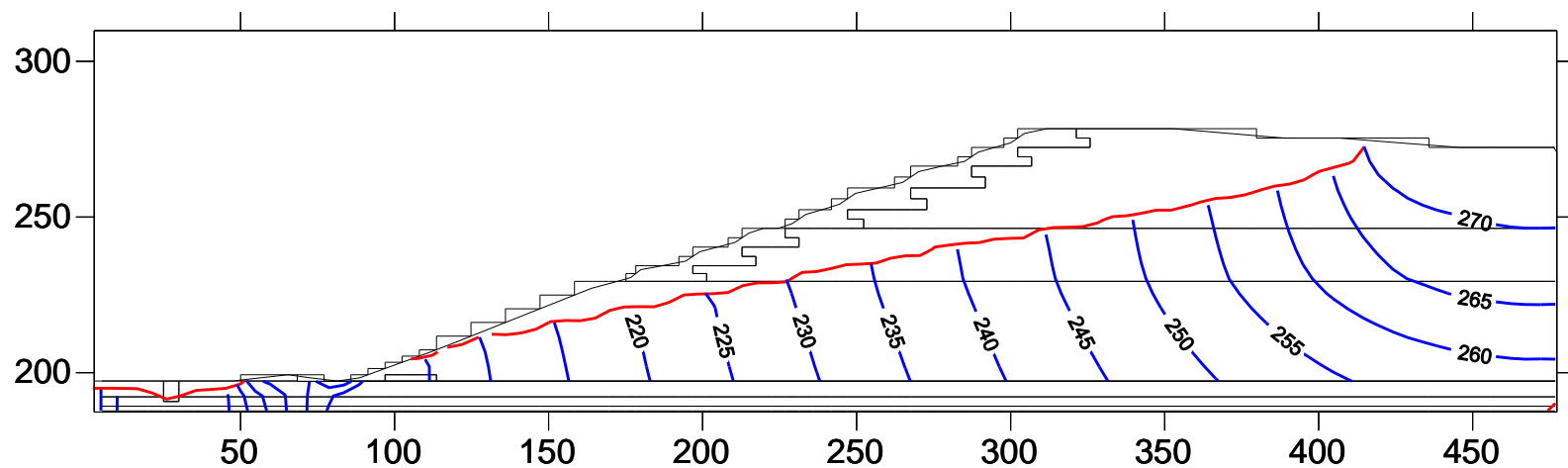


Рисунок 3.10 - Сечение 1-1 Карты№2. Вариант дренажной канавы глубиной 3 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

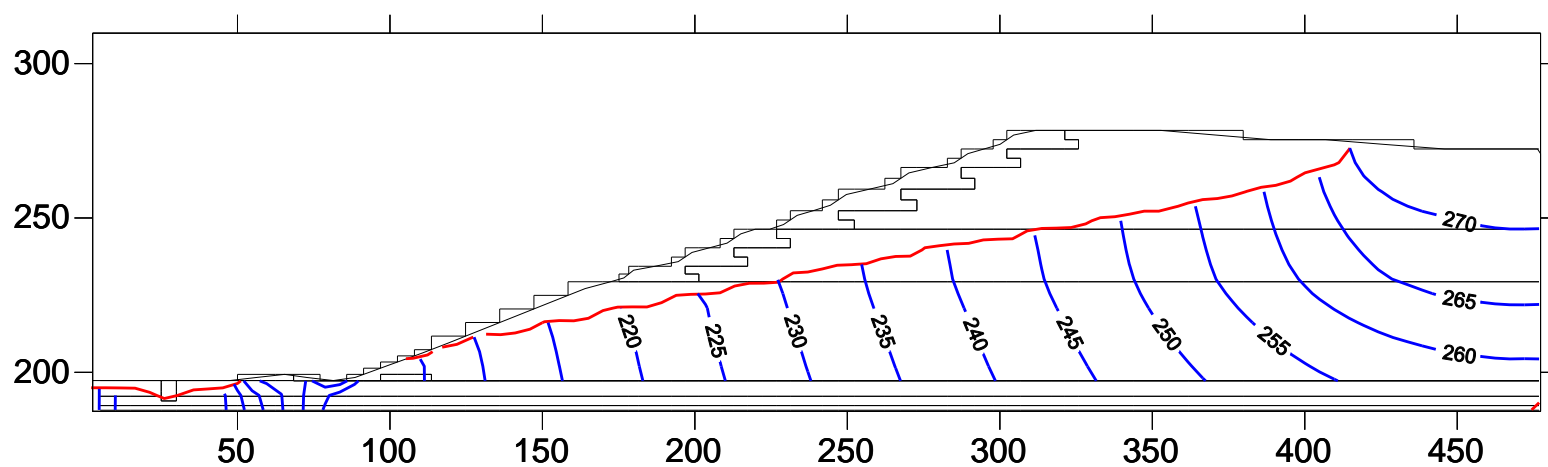


Рисунок 3.11 - Сечение 1-1 Карты№2. Вариант дренажной канавы глубиной 6 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

3.4.6 Сечение по створу 2-2 карты №2

Сечение 2-2 в достаточной мере согласуется с сечением 1-1 второй карты шламохранилища. Отличия заключаются в несколько ином геологическом разрезе и геометрии ограждающих конструкций, что достаточно сильно отразилось на качественных результатах: положение кривой депрессии в варианте с неглубокой канавой (3-4 м) гораздо выше; зона высачивания потока на откос достаточно велика, что может создать трудности в эксплуатации сооружения (рис. 3.12, 3.13), тем не менее, работа дренажной канавы максимально эффективна, т.к. она улавливает поток, фильтрующийся из водоотводной зоны шламовой карты № 2. Однако водосборная зона достаточно сильно обводнена, в ней возможны экстремальные повышения уровней и переполнения. В варианте с более глубокой канавой (до 7 м) линия депрессии располагается гораздо ниже. Видимо, это связано с локальной разгрузкой водоносного горизонта дренажным оборудованием, так как его работа находится ниже подошвы суглинков, т.е. в зоне проницаемых пород. Уровень воды в канаве при этом ниже, осушаются большие площади (до 25 м в поперечнике).

Вычисление расходных характеристик уловленного расхода и расхода основания в напорном режиме указывает на идентичность характеристик потока по всей протяженности насыпи. Расход, улавливаемый дренажом (вариант № 2) в сочетании с водосборной зоной достигает 90% и численно равен $2,114 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$ при общем расходе $2,367 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$. Удельный расход в первом варианте – $1,204 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{м}$, что составляет около 50%.

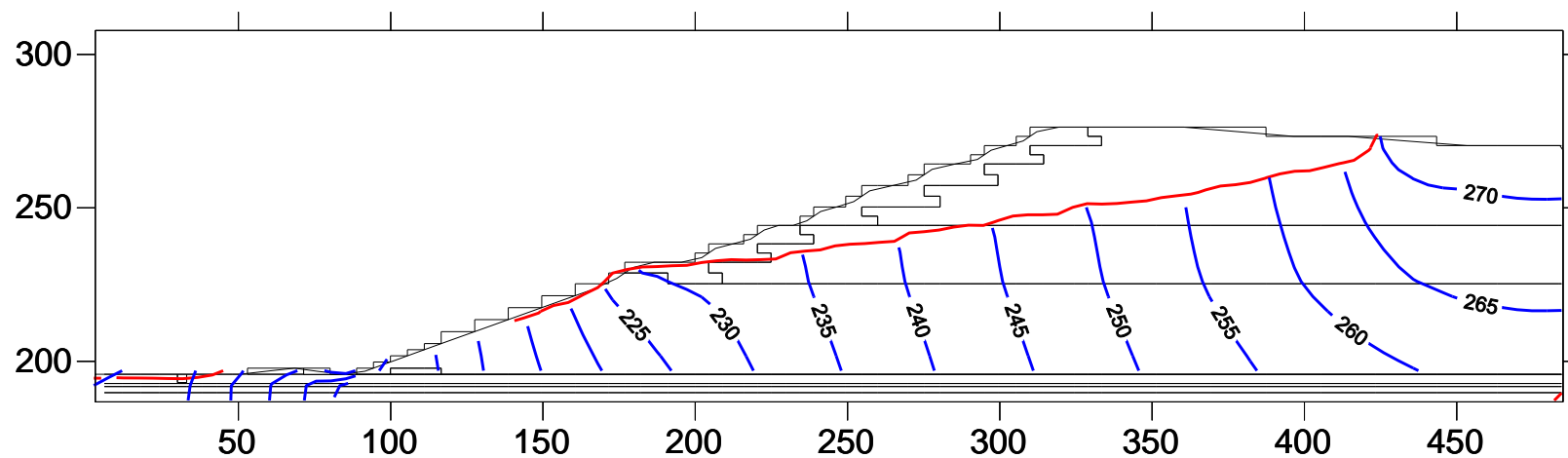


Рисунок 3.12 - Сечение 2-2 Карты №2. Вариант дренажной канавы глубиной 4 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

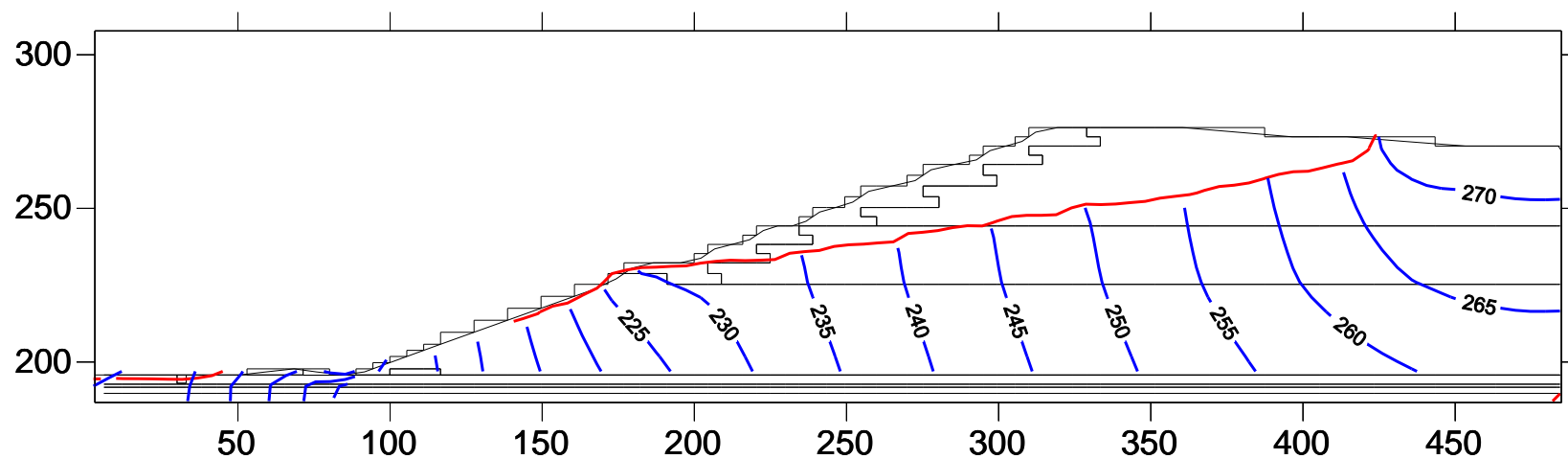


Рисунок 3.13 - Сечение 2-2 Карты №2. Вариант дренажной канавы глубиной 7 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

3.4.7 Сечения по створам 2-2 и 5-5 карты №3

Сечения 2-2 и 5-5 третьей карты просчитаны с более высокой степенью детализации технологических и конструктивных элементов сооружения ввиду того, что данный объект находится в стадии возведения. Каждая дамба аппроксимировалась отдельно, что повысило точность определения уровней залегания насыщенной зоны. Экран в водоотводной зоне данной секции задан с небольшой проницаемостью, для моделирования максимально неблагоприятных процессов. Водосборная зона также запроектирована и будет устроена по внешнему периметру карты № 3. Моделируется конечная отметка заполнения в 276 м в отстойном прудке, с связи с тем, что это наиболее опасный вариант эксплуатации, обеспеченный максимально возможным напорным фронтом и наивысшими расходами.

Геологические условия в обоих сечениях достаточно похожи, поэтому описание результатов возможно проводить вместе.

Первый вариант в обоих сечениях оценивал эффективность работы системы перехвата дренажных вод глубиной 3 м. И уже в этом варианте достигнута необходимая эффективная работа дренажной канавы. Участков высачивания на расчетных сетках не обнаруживается. Это объясняется высокими параметрами водопроницаемости отдельных геологических слоев в основании, которые еще не кольматированы (рис. 3.14, 3.16). Минимально проницаемый экран водоотводной зоны обеспечивает отсутствие фильтрации за пределы карты № 3.

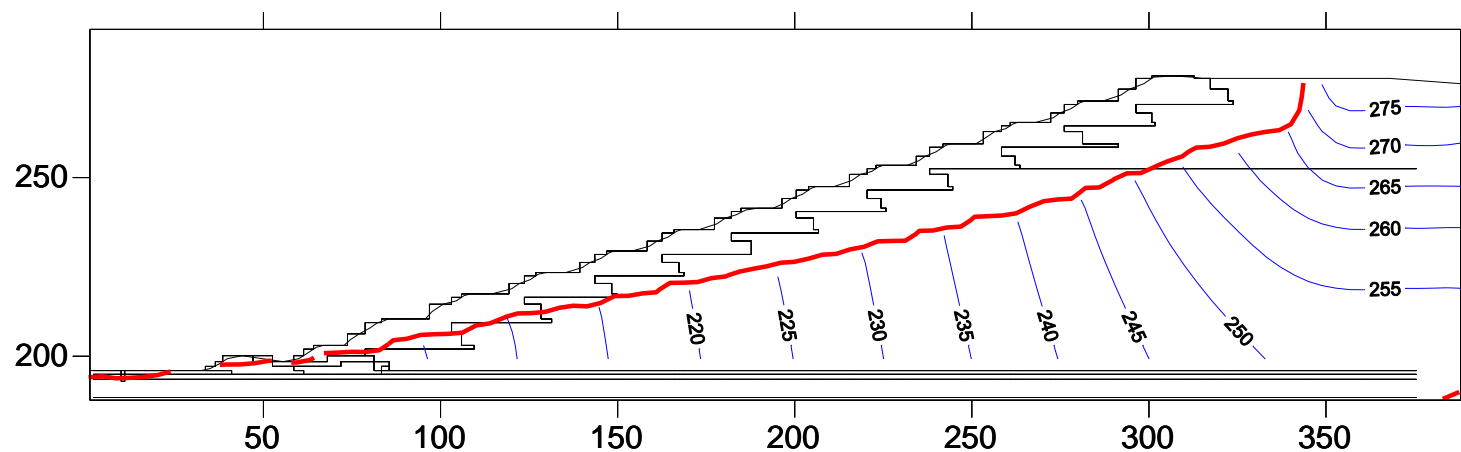


Рисунок 3.14 - Сечение 2-2 Карты №3. Вариант дренажной канавы глубиной 3 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

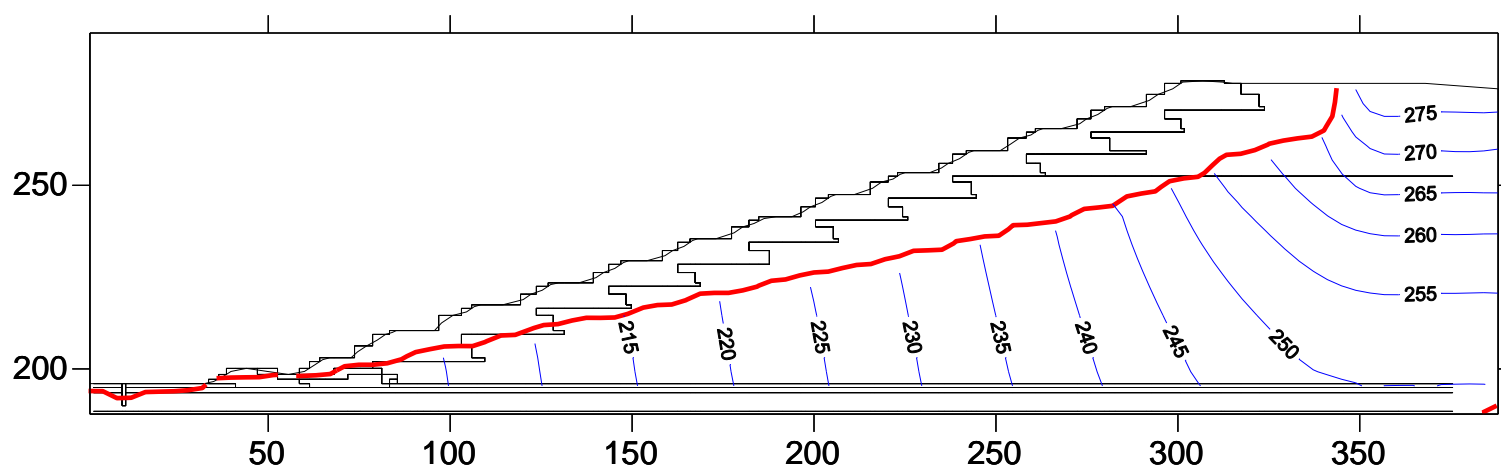


Рисунок 3.15 - Сечение 2-2 Карты №3. Вариант дренажной канавы глубиной 6 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

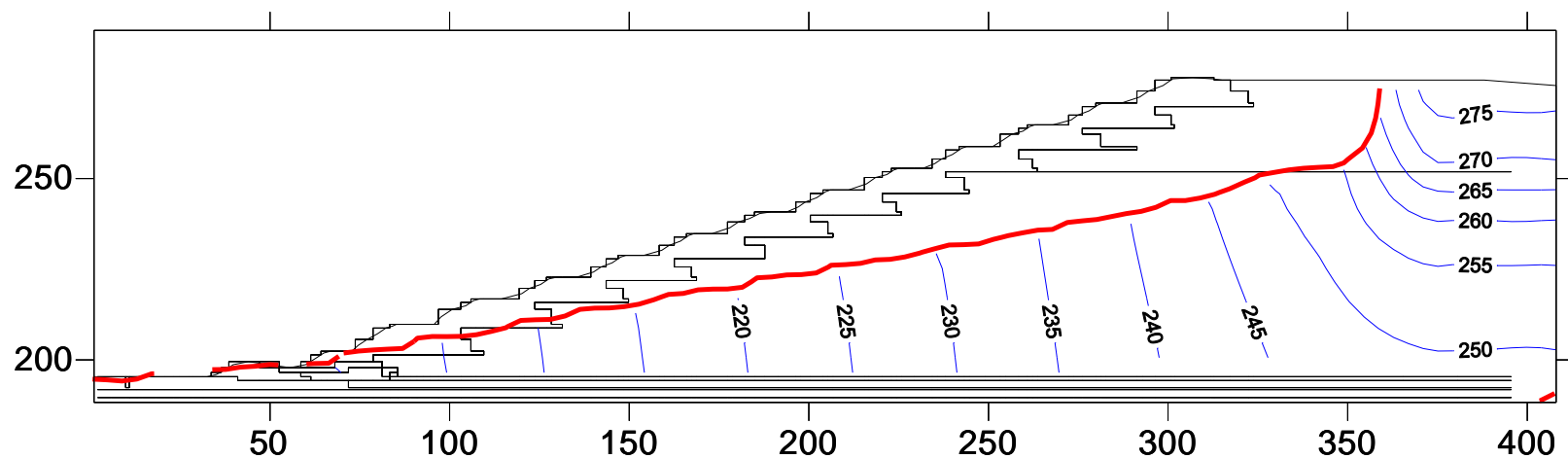


Рисунок 3.16. - Сечение 5-5 Карты№3. Вариант дренажной канавы глубиной 3 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

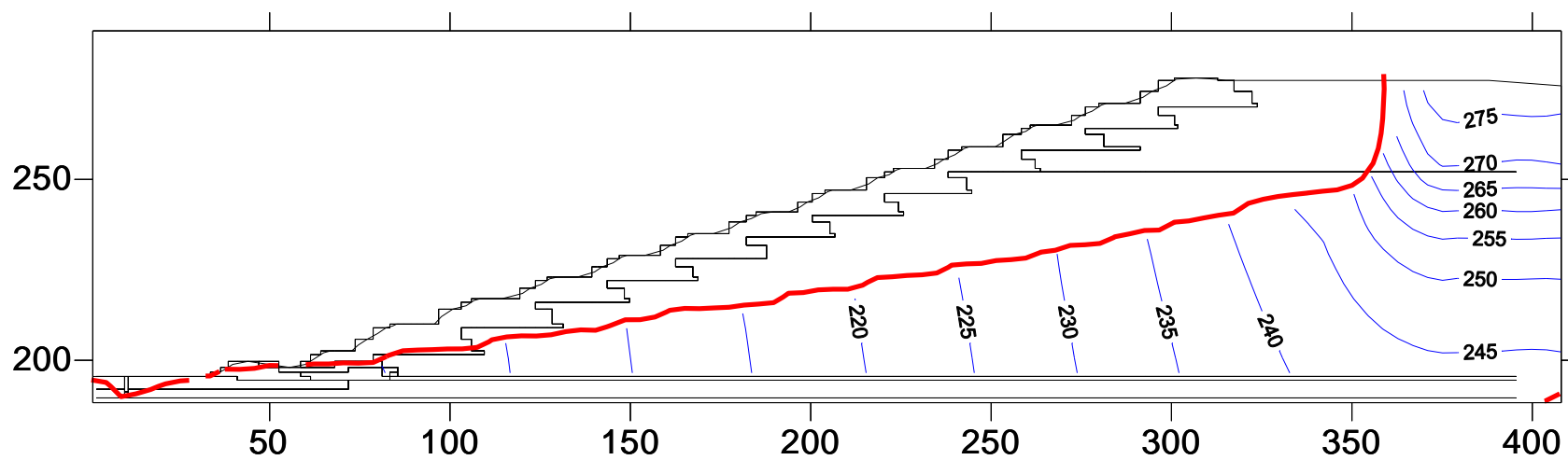


Рисунок 3.17. - Сечение 5-5 Карты№3. Вариант дренажной канавы глубиной 6 м на расстоянии 20 м от ограждающей дамбы

Дренажная канава снижает уровень грунтовых вод, что положительно влияет на прилегающую территорию, которая достаточно хорошо осушается. При увеличении глубины дренажной канавы до 6 м фильтрационная картина еще более эффективна (рисунки 3.15, 3.17). В основном это связано с еще большим понижением уровня в канаве и, соответственно, с увеличением площади осушения.

В сечении 2-2 расход уловленных вод составил 0,932 м³/сут·м и 1,486 м³/сут·м в первом и втором вариантах соответственно, в сечении 5-5 – 0,554 м³/сут·м и 0,684 м³/сут·м. Оба варианта достаточно эффективны в сочетании с работой водосборной области. Перехват дренажных вод 30 – 50% при глубине выемки 3 м, и достигает 50 – 70% при увеличении глубины до 6 м. Это объясняется близким расположением к поверхности водоносных пластов.

3.5 Расчет полного расхода шламохранилища

Расчет полного расхода через дамбы шламохранилища носит прогнозный характер, ввиду достаточно большого количества принятых в расчете приближений и графических построений. Выбранные сечения являются наиболее характерными и экстраполяция данных сечений имеет смысл и может быть единственным обоснованием прогноза утечек, поступления дренажных вод в водосбоную канаву и проектируемый дренаж для выбора технических решений и аппаратуры для организации откачки дренажных вод, организации пьезометрических и наблюдательных створов на проектируемых объектах шламового хозяйства; перераспределения массопереноса, за счет изменения расходов после запуска системы дренирования и, как следствие, изменение всей гидродинамической обстановки в районе расположения шламохранилища.

Основной задачей такой оценки является проецирование расчетных сечений на остальные участки ограждающей дамбы. Материалы по карте № 3 содержат рекомендации по приравниванию сечений 1-1 и 3-3 к расчетному сечению 2-2 данной карты; сечения 4-4 и 6-6 являются аналогичными

расчетному сечению 5-5 карты № 3. На карте № 2 было выделено два расчетных сечения сечение 1-1 на юго-западной дамбе секции в зоне распространения аллювиальных суглинков общей длиной 779 м и сечение 2-2 на северо-западной дамбе и части юго-западной дамбы длиной 556 м, в плоском сечении которого слой суглинков будет прорезан канавой глубиной 3 м. Эти сечения экстраполируются на всю длину дамб карты № 2 сооружения. Для карты № 1 также были рассчитаны два расчетных сечения 1-1 и 2-2. Учитывая геологические и топографические особенности, сечение 2-2 для расчета применяется на двух участках дамб сопряженных с картами № 2 и № 3.

Расчет полного расхода (по формуле 3.4) целесообразно провести для определения уловленного внешним дренажем объема воды в варианте дренажной канавы 3-х метровой глубины (таблица 3.5) и в варианте с более глубокой канавой, врезанной в водоносный горизонт аллювиальных отложений, представленных песками и гравиями (таблица 3.6). Эти потери могут происходить только из карты № 1, ввиду изоляции полимерной геомембраной дна и бортов карт № 2 и № 3 шламового хозяйства.

Результаты математического моделирования показывают, что при разработке системы перехвата фильтрационных вод шламохранилища, основным параметром, влияющим на эффективность ее работы, является глубина дренажной канавы. Обводная дренажная канава, расположенная вокруг всего шламового поля кроме южного участка карты № 1, способна обеспечить перехват 50% дренирующих через дамбы вод в случае ее врезки в водоносный четвертичный аллювиальный горизонт через перекрывающие его слабоводопроницаемые суглинки. Ежесуточный объем уловленной воды может составить 8,3 тысячи м³/сут, в зависимости от регулировки сброса пульпы в карты шламохранилища.

Необходимо отметить, что полученный расход соответствует экстремальному режиму эксплуатации карты № 1, при котором прудок

поддерживается на проектном уровне постоянной подпиткой из системы шламоудаления АГК, либо из системы ЗШУ котельной.

Таблица 3.5 - Объем фильтрата, улавливаемого внешним дренажем глубиной 3 м при работе трех карт

Номер карты	Расчетные сечения	Длины участков, м	Удельный расход, м ³ /сут·м	Удельный расход, поступающий в дренаж, м ³ /сут·м	Полный расход на участке, м ³ /сут	Полный расход на участке, поступающий в дренаж м ³ /сут
1	1-1	980	2,882	0,34	2842	333,2
	2-2	600+700+540	1,97	0,18	3624	331,2
2	1-1	779	2,795	0,628	2177,3	489,21
	2-2	535+556	2,367	1,204	2558,95	1296,71
3	2-2	1000+200	1,865	0,932	2238,2	1118,4
	5-5	562+764	1,040	0,554	1379	734,6
Суммарный уловленный расход, м ³ /сут					14819,45	4303,32
Доля, уловленная дренажной канавой, %						29%

Таблица 3.6 - Объем фильтрата, улавливаемого внешним дренажем глубиной 6 м

Номер карты	Расчетные сечения	Длины участков, м	Удельный расход, м ³ /сут·м	Удельный расход поступающий в дренаж, м ³ /сут·м	Полный расход на участке, м ³ /сут	Полный расход на участке поступающий в дренаж м ³ /сут
1	1-1	980	2,882	0,436	2842	427,28
	2-2	600+700+540	1,97	0,703	3624	1293,52
2	1-1	779	2,795	2,146	2177,3	1671,73
	2-2	535+556	2,367	2,114	2558,95	2276,78
3	2-2	1000+200	1,865	1,486	2238,2	1783,2
	5-5	562+764	1,040	0,684	1379	906,98
Суммарный уловленный расход, м ³ /сут					14819,45	8359,49
Доля, уловленная дренажной канавой, %						56%

Ввод в эксплуатацию третьей карты позволит закрыть и рекультивировать карту № 1, которая стала мощным гидрогеологическим фактором на всей территории промплощадки вплоть до р. Чулым. Изменить ее влияние на гидрогеологическую обстановку созданиями каких-то инженерных систем практически невозможно, т.к. фильтрация приобрела черты

стационарности в этой зоне очень давно. Кроме того, необходимо учитывать, что карта № 3 проектировалась полностью изолированной от фильтрации, для чего в ее основание уложен полимерный экран. Принимая во внимание эту поправку к расчетам полного расхода через дамбы шламонакопителя, можно скорректировать дренажную способность системы перехвата загрязненных вод с учетом возможных фильтрационных потерь лишь в карте № 2 шламохранилища (таблица 3.7).

Таблица 3.7 - Объем фильтрата, улавливаемого внешним дренажем глубиной 3 м при работе карт №2 и №3

Номер карты	Расчетные сечения	Длины участков, м	Удельный расход фильтрации, м ³ /сут·м	Удельный расход, поступающий в дренаж, м ³ /сут·м	Полный расход на участке, м ³ /сут	Полный расход на участке, поступающий в дренаж м ³ /сут
2	1-1	779	2,795	0,628	2177,3	489,21
	2-2	535+556	2,367	1,204	2558,95	1296,71
3	2-2	1000+200	0	0,75	0	900
	5-5	562+764	0	0,554	0	734,6
Суммарный уловленный расход, м ³ /сут					4736,25	3420,52
Доля, уловленная дренажной канавой, %						72%

Скорейший вывод из эксплуатации первой карты безусловно сыграет положительную роль в экологии местности. Прогнозируемое снижение намыва в первую карту может определить падение напоров в этой области, и, как следствие, разгрузить напряженное состояние потока в заболоченной (подтопленной) области. В результате карта № 1 перестанет учитываться в водном балансе. Экранированная карта № 3 также не пополнит горизонт, но дренажная канава по ее периметру сможет перехватывать воды, проходящие потоком под картой. Это могут быть как природные, так и подшламовые воды. Учитывать этот перехват в общей эффективности дренажной канавы имеет смысл, т.к. основная задача такого решения это осушение приповерхностного слоя и заболоченности на всей прилегающей территории.

Врезка канавы трехметровой глубины в аллювиальные пески и гравелистые грунты, произойдет в сечениях 2-2 карты № 2 и на всем протяжении дамбы третьей секции.

Моделирование плоско-вертикальной задачи показало, что воздействие на окружающую среду карт № 2 и № 3 поддается корректировке инженерными методами и способами. Сочетание проектируемого дренажа и водосборной зоны в нижних бьефах карт № 2 и № 3 безусловно повысит эффективность природоохранных мероприятий и экологичность самого сооружения.

При исключении из воздействия карты № 1 шламохранилища и эффективном экранировании карты № 3 необходимая и достаточная для перехвата более 2/3 потока глубина дренажной канавы, проектируемой по периметру ограждающих конструкций, должна быть не менее 3 м.

В этом случае объем перехваченных вод составит 3,42 тыс. м³/сут, что составит 72% от общего расхода через дамбы шламохранилища.

4 Локальная устойчивость накопителя

Расчеты по плоским поверхностям скольжения обычно проводятся для случая, когда в основании дамбы имеется прослойка из слабого грунта (рис. 4.1).

Для рассматриваемой расчетной схемы коэффициент устойчивости определяется по формуле 4.1

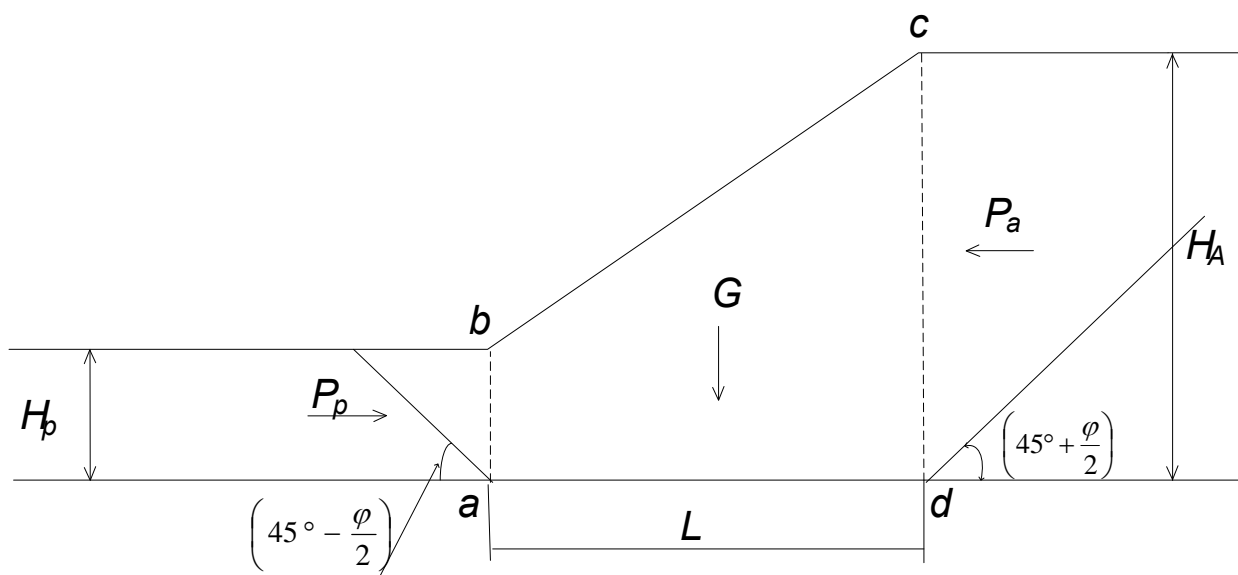


Рисунок 4.1 - К расчету устойчивости дамбы при наличии слабой прослойки в основании

Для решения данной задачи имеются различные приближенные методы, которые не удовлетворяют всем требованиям, в частности трем условиям равновесия.

$$k_3 = \frac{c_n L + G \operatorname{tg} \varphi_n}{P_a - P_p} \quad (4.1)$$

где G – вес призмы обрушения $abcd$; l – длина подошвы блока $abcd$; P_a и P_b – активное и пассивное давление (отпор) на вертикальные боковые грани призмы $abcd$; φ_n и c_n – угол внутреннего трения и сцепление грунта в прослойке.

Величины P_a и P_b определяются по следующим зависимостям:

$$P_a = 0,5 \rho H_A^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2cH_A \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4.2)$$

$$P_b = 0,5 \rho H_p^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2cH_p \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4.3)$$

где ρ , φ , c – плотность, угол внутреннего трения и сцепление грунта, оказывающего давление на призму $abcd$.

Вес призмы G определяется с учетом положения в ней кривой депрессии (КД) и складывается из веса влажного грунта выше КД и веса взвешенного грунта ниже КД.

Локальную устойчивость следует рассматривать при оперативной оценке ситуации на опасном участке в случае выявления деформаций и обоснования первоочередных мероприятий по укреплению сооружения (например, устройству дренированной пригрузки).

$$G = \frac{93,75 + 12,5}{2} \cdot 175 = 9296,87$$

$$P_a = 0,5 \cdot 1,45 \cdot 93,75^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{47}{2} \right) - 2 \cdot 2500 \cdot 93,75 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{47}{2} \right) = 2466533$$

$$P_b = 0,5 \cdot 1,45 \cdot 12,5^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{30}{2} \right) + 2 \cdot 2500 \cdot 12,5 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{30}{2} \right) = 20,55$$

$$k_3 = \frac{2500 \cdot 175 + 9296,87 \cdot \operatorname{tg} 27}{2466533 - 20,55} = \frac{407099,24}{24667385} = 1,65$$

Коэффициент запаса устойчивости получился равный 1,65, что свидетельствует о устойчивости борта шламохранилища карты №2 сечение 1-1.

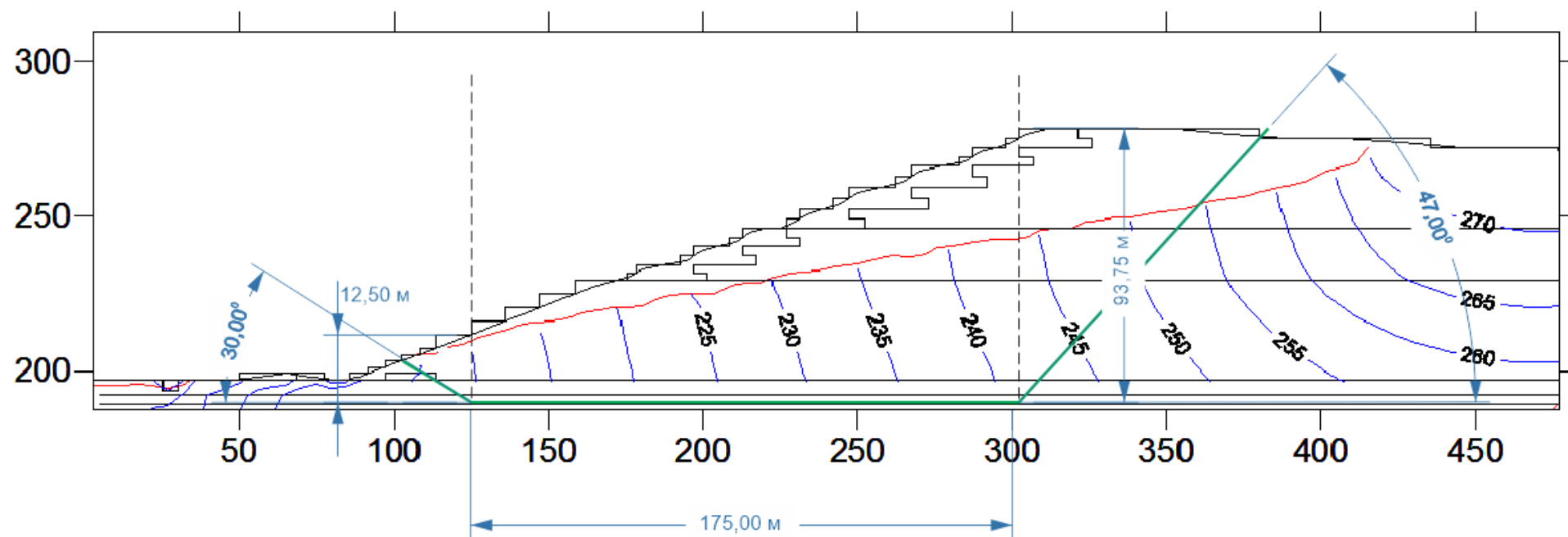


Рисунок 4.2 – Устойчивость откоса карты №2 сечение 1-1

5 Моделирование гидрогеологической обстановки

Основной целью создания системы перехвата фильтрационных вод шламохранилища является осушение ближайшей локализации шламохранилища. Для выявления эффективности такого мероприятия выполняется моделирование полной гидрогеологической обстановки участка проектирования, результатом которого должна стать прогнозная гидродинамическая карта района расположения шламохранилища.

Формирование наборов исходных данных – это операция преобразования собранных исходных данных в форматы, используемые системой математического моделирования. Требования к форматам зависят от особенностей системы математического моделирования, входящей в комплекс. В набор должны входить данные по геометрии выделенных в процессе схематизации пластов, сведения по наблюдательным точкам, в которых контролируется совпадение вычисляемых на модели параметров с фактически замеренными по результатам полевых или лабораторных работ, а также расходы эксплуатационных скважин, уровни воды в водоемах и водотоках, концентрации загрязняющих веществ в источниках и т.п.

Построение концептуальной схемы. Концептуальная схема является отображением гидродинамической схемы средствами системы математического моделирования. Как и гидродинамическая, она включает в себя плановое и в разрезе изображение концептуальной схемы, а также изображения карт гидрогеологических параметров в форматах системы моделирования. Если нужные фактографические сведения в базе данных отсутствуют, то они на этом этапе должны быть дополнены экспертом-моделировщиком на основе анализа косвенной информации или приняты по аналогии с другими, более изученными объектами и т.п.

Аппроксимация по пространству и времени. Для преобразования концептуальной схемы в фильтрационную необходимо задать сеточную аппроксимацию моделируемой области в пространстве (в плане и разрезе), выполнить аппроксимацию моделируемого процесса во времени и отобразить

на пространственно-временную сеть все исходные данные (концептуальную схему, карты гидрогеологических параметров и наборы исходных данных). Аппроксимация по пространству должна выполняться с учетом особенностей выбираемых программных средств и метода решения дифференциальных уравнений, описывающих имитируемый процесс. Аппроксимация моделируемой области в разрезе осуществляется на основе сведений о геометрии выделенных слоев (используя абсолютные отметки поверхности земли и подошв выделенных слоев), представленных в концептуальной схеме, или выполняется моделировщиком так же, как и для плановой сети (т.е. описывается с помощью перечисленных выше параметров). Для осуществления аппроксимации моделируемого процесса во времени используются результаты схематизации - время, которое принимается за начало процесса моделирования, количество и длина стрессовых периодов. Каждый стрессовый период в случае необходимости должен разбиваться на некоторое количество шагов для записи результатов решения задачи на каждом из них.

Генерация фильтрационной схемы. Фильтрационная схема представляет собой отображение концептуальной схемы на пространственную и временную сеть. Фильтрационная схема должна генерироваться системой автоматически. При этом также выполняется интерполяция в ячейки пространственной и временной сети и результаты представляются в форматах, используемых выбранной программой моделирования. Генерация фильтрационной схемы и интерполяция параметров в узлы пространственной и временной сети завершают этап создания математической модели.

Калибровка модели. Калибровка является важнейшим этапом моделирования и выполняется для доказательства адекватности модели природным условиям. В процессе проведения идентификации должен осуществляться подбор параметров модели. Для гидродинамических задач такими параметрами являются площадное питание, коэффициенты фильтрации, упругой и гравитационной водоотдачи и т.д. Качество решения

обратных задач должно оцениваться по ряду критериев и ограничений - динамических, диагностических, физического правдоподобия.

5.1 Структура геофильтрационной модели

Объемная модель построена в программном комплексе Visual MODFLOW version 3.15. Площадь участка моделирования $3,998 \times 4,006 = 16,01$ км². Дискретизация выполнена квадратными ячейками со сторонами не более 40×40 м. Количество блоков в плане $100 \times 100 = 10000$ ед. С учетом того что в разрезе содержится 10 расчетных слоев, общее количество блоков составляет 9200 ед, за счет уменьшения активных блоков в верхних слоях, находящихся выше поверхности земли. Нижняя граница модели определена мощностью моделируемой толщи пород и составляет 150 м над уровнем моря (Балтийской системы координат); верхняя граница соответствует поверхности ландшафта и изменяется в естественной зоне в пределах 197-203 м и в пределах высот дамб наращивания 278-312 м в зоне карт шламонакопителя (рис. 5.1).

Геофильтрационная схематизация выполнена с учетом реальных гидрогеологических условий и взаимодействующих с ними техногенных элементов. В ней использованы данные о геологическом строении, гидрогеологических условиях и физико-механических свойств грунтов площадки размещения ОАО «РУСАЛ Ачинск». Выделенные на участке изучения структурные элементы: техногенные и четвертичные отложения, зона выветрелых алевролитов и водоупорная зона, заданы по результатам проведения полевых исследований проницаемости грунтов. Для каждого водоносного горизонта приняты исходные расчетные показатели фильтрации и пределы их изменений.

Разработанная модель состояла из 10 слоев. Первый и второй слою соответствовали несцементированным шламовым отложениям в осушенной и прудковой зонах. Третий – уплотнившимся шламовым отложениям. Четвертый слой введен для имитации защитного экрана второй и третьей карт

шламохранилища. Пятый слой соответствовал перекрывающим высокопроницаемые аллювиальные отложения насыпным грунтам. Шестой слой – суглинистая толща. Седьмой слой – переслаивание песков и супесей. Восьмой слой задан как толща гравелистых песков. Девятый соответствовал гравийно-галечниковым отложениям. Десятый – подстилающие аллювиальный водоносный горизонт. Поверхностные водотоки заданы как реки с уклоном снятым с топографической карты масштаба 1:25 000. Водоемы заданы как контуры постоянного напора. С юга модель ограничена границей постоянного напора, имеющего значения в соответствии с рельефом и ожидаемым уровнем подземных вод. За р. Чулым ячейки модели деактивированы.

5.2 Варианты построения модели

Прогноз изменения гидрогеологических условий в пределах моделируемой территории производился сроком на 1000 суток (2 года 270 дней). Выполнено два варианта расчета:

- эксплуатация первой и второй карт шламохранилища (расчет выполнен на короткий период),
- эксплуатация шламохранилища после вывода из эксплуатации 1 карты и включения в схему карты № 3.

Главными режимобразующими факторами на изучаемой территории служили отметки уровня воды в зоне питания фильтрации из намывных карт, стационарные уровни в скважинах, пробуренных в ходе данных работ, уровни грунтовых вод на границах моделируемой площади, определенные по результатам многолетних наблюдений в скважинах регулярной сети мониторинга подземных вод на шламохранилище, а также параметры водопроницаемости, установленные по результатам опытно-фильтрационных работ.

Поверхности расчетных слоев в основном не осложнены техногенными строительными объектами и конструкциями. Единственным техногенным

объектом исследуемой территории является насыпь шламохранилища, изменение напоров в прудковых зонах которого определяло начальные граничные условия расчета. Постоянный во времени дебит, достаточная гидрогеологическая изученность границ областей питания фильтрации и геологии участка, обусловили применение в расчетах уравнение стационарной фильтрации.

В процессе калибровки использованы данные наблюдений за уровнями подземных вод в наблюдательных и пьезометрических скважинах. Также учтена анизотропия слоев в основании сооружения, которая обусловлена слоистостью четвертичных отложений, участвующих в питании поверхностных водотоков, и физической и химической коагуляцией приповерхностных грунтов, обусловленной взаимодействием шламовых вод и частиц грунта и выраженной снижением свойств водопроницаемости песков, супесей и др. элементов в вертикальном направлении.

В обоих вариантах в модель введен элемент разгрузки напора фильтрации в виде дренажной канавы по всему периметру шламохранилища с помощью специальной функции. Глубина канавы рекомендованная – 3 м. Кроме того, на модели заданы поверхностные водотоки, являющиеся областями разгрузки грунтового потока всей площади – протока Быстрая и р. Чулым.

5.3 Результаты моделирования

В результате моделирования гидрогеологических процессов в насыпи, основании шламохранилища и на прилегающей к нему территории были получены прогнозные картировочные материалы, которые позволили оценить положение депрессионной поверхности, эквипотенциали напоров по слоям, направления тока подземных вод, зоны осушения в результате вывода из эксплуатации карты № 1 шламохранилища и ввода системы перехвата фильтрационных вод в виде проектируемой дренажной канавы.

Вариант №1. Включение в фильтрационную систему «шламохранилище – подземный горизонт – поверхностный водный объект» нового элемента - системы перехвата фильтрационных вод повлияло на структуру подземного потока, в котором разгрузка из неэкранированной карты № 1 играет превалирующую роль. В первую очередь наблюдается существенное падение скоростей (рис. 5.1) в приповерхностном слое и объемов массопереноса за дренажной канавой, о чем говорит размер стрелок (в данной визуализации величина стрелки прямо пропорциональна скорости течения).

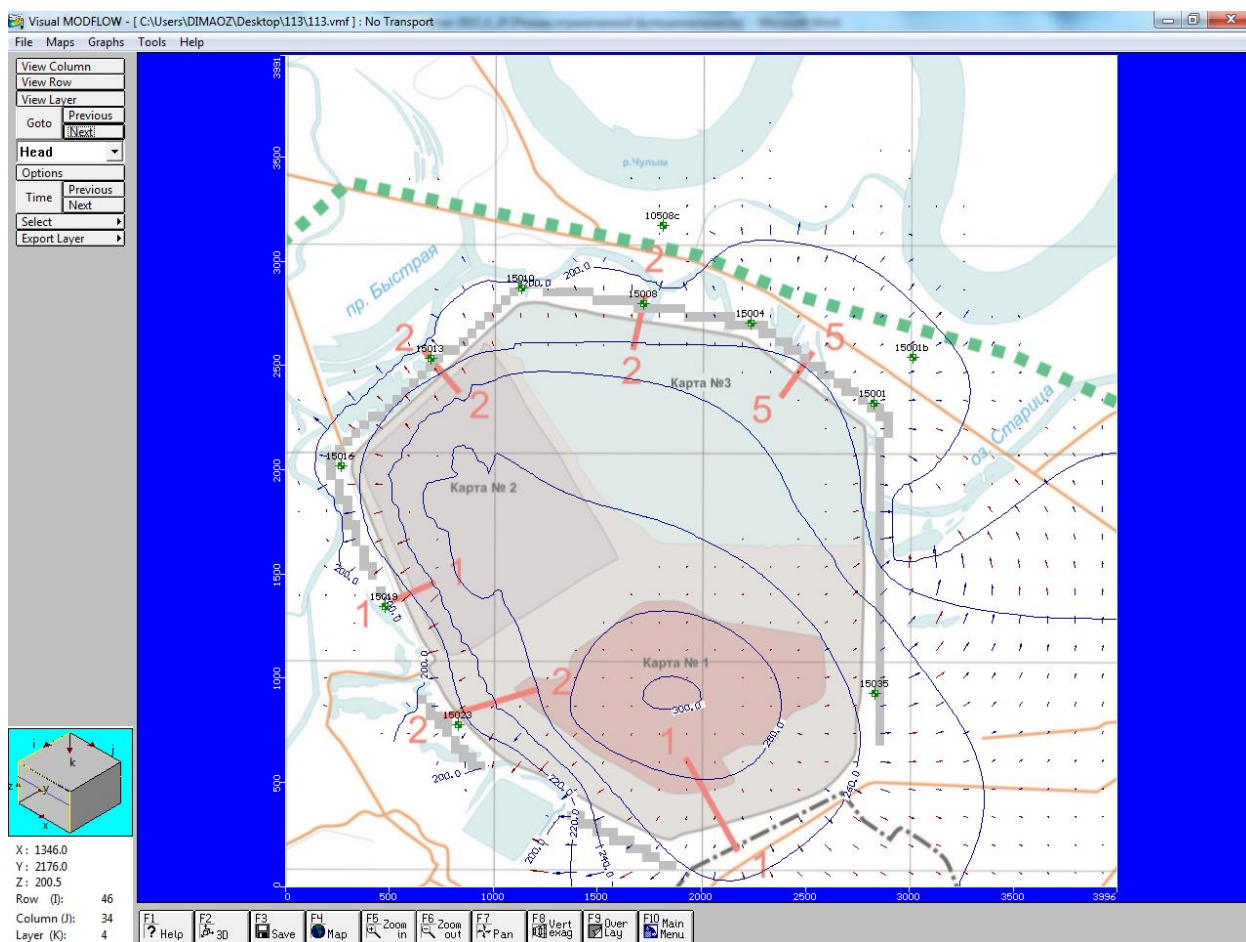


Рисунок 5.1. - Гидродинамическая картина в поверхностном слое
($h=1$ м)

На прилегающей территории намечается тенденция к осушению поверхности, о чем говорит наличие зон с сухими ячейками (окрашены в зеленый цвет). Области, занятые водоемами действительно сокращаются, хотя и не исчезают полностью (рис. 5.2).

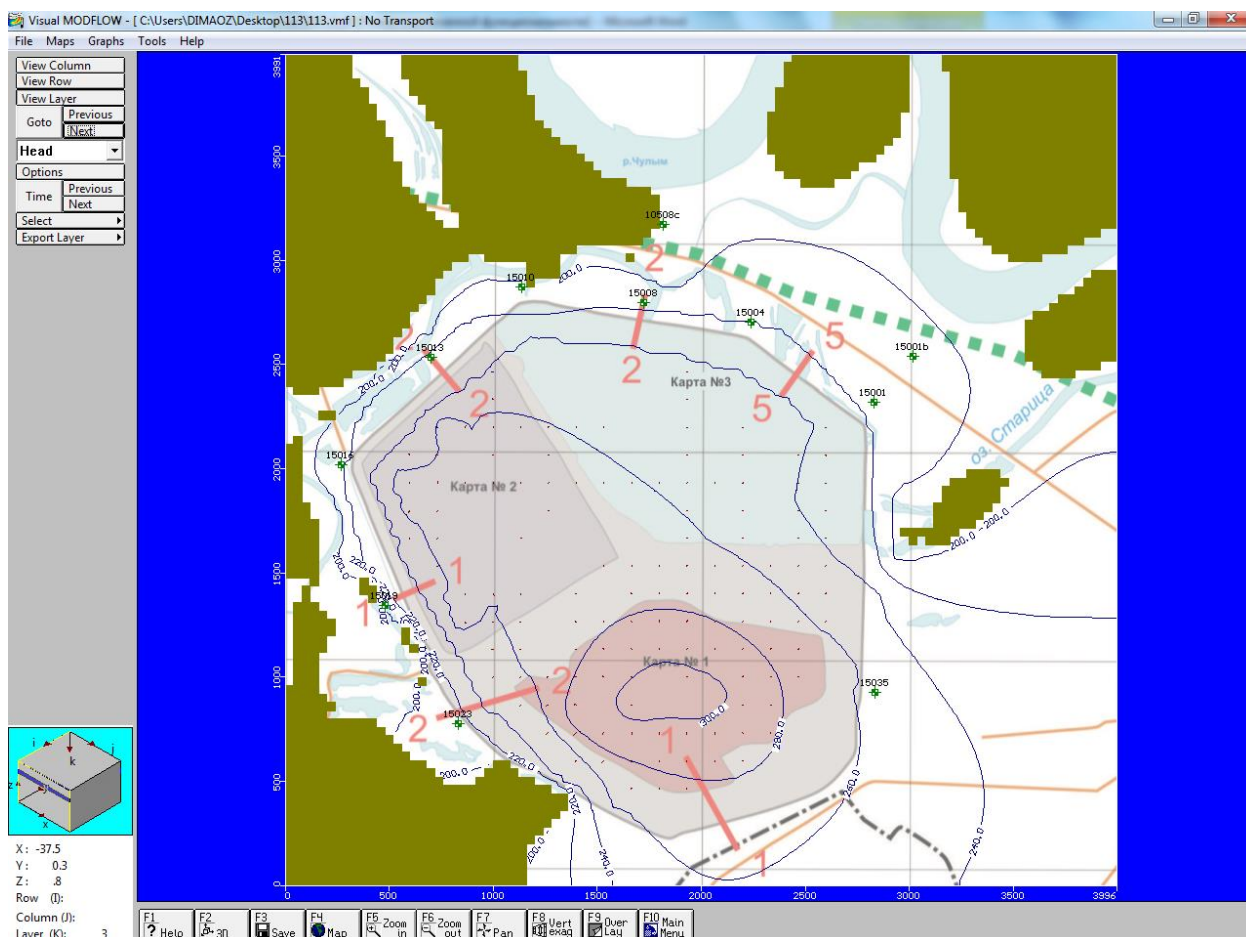


Рисунок 5.2 - Наличие сухих зон на поверхности

В целом, прогнозная оценка работы системы перехвата фильтрационных вод шламохранилища действительно указывает на возможный положительный эффект от дренирования верхней части водоносного горизонта, который будет выражен в снижении эффекта подтопления территорий в восточной и северной части района исследований. В то же время подземный поток будет продолжать смешиваться с фильтрационными водами карт складирования и продолжит питать более крупные дрены (оз. Старица, р. Чулым, протока Быстрая).

Вариант №2. Моделирование включения в работу карты № 3 с одновременным осушением карты № 1 существенно изменило картину гидрогеодинамических процессов в районе расположения шламохранилища. Как уже говорилось при рассмотрении результатов плоско-вертикальных задач, наличие двух последовательно расположенных контуров разгрузки в виде водосборной зоны и проектируемой дренажной канавы будет иметь

несомненный положительный эффект, что и подтвердили результаты трехмерного моделирования.

Зоны осушения в насыпи и на поверхности еще более выражены. Все обводненные зоны приурочены к крупным водотокам и водоемам, а также к картам складирования, в которых располагаются намывные прудки, постоянно питающие массив водой.

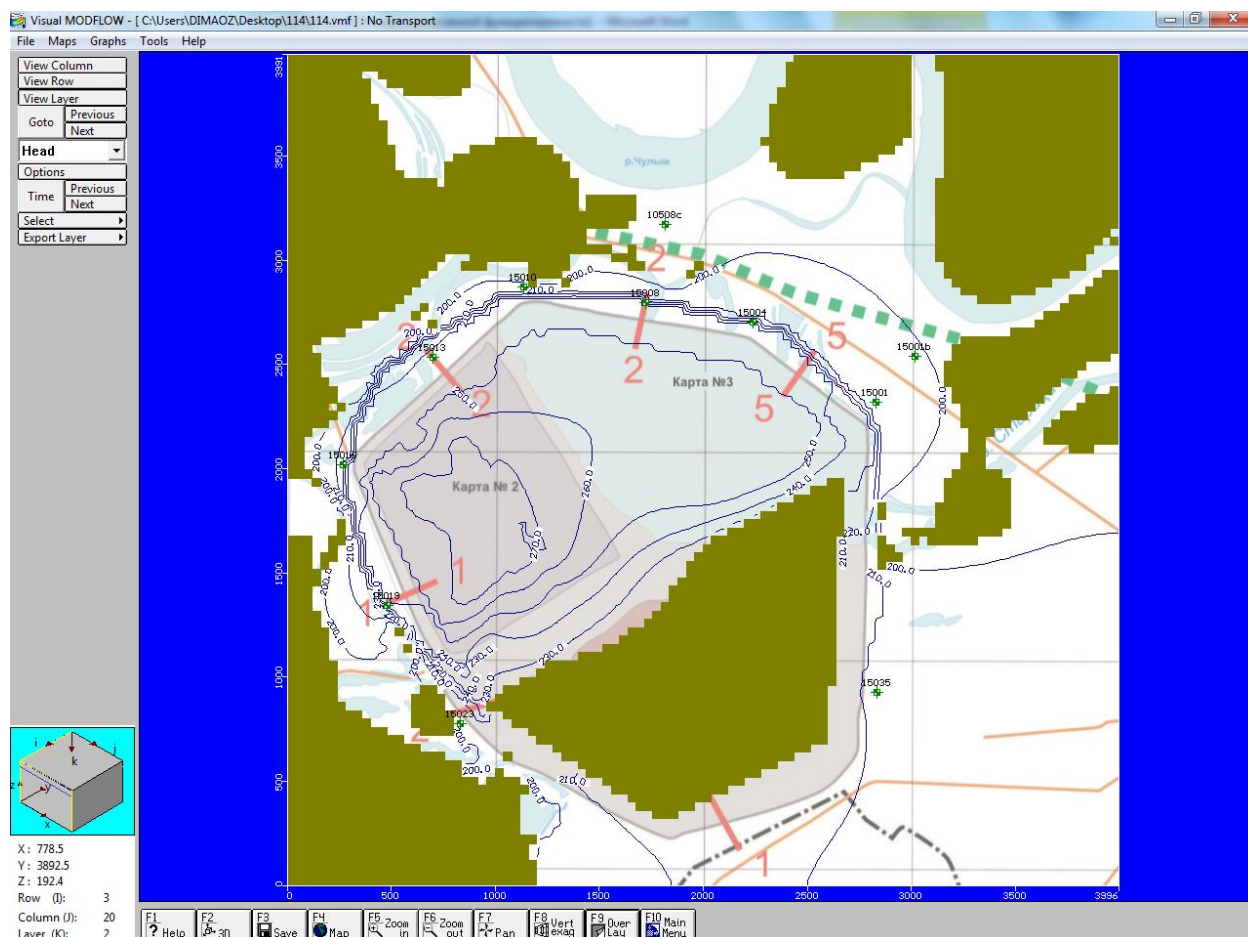


Рисунок 5.3 Сухие зоны на поверхности и в карте №1

Характеризуя работу проектируемой системы перехвата фильтрационных вод, можно указать на наличие отдельных микрозон на внешней границе дренажной канавы, что безусловно характеризует ее работу положительно. Падение напоров в ней, достаточно большое, а значит объем воды которая она способна улавливать, также высок.

Рассматривая скорости течения на модели, можно сделать вывод об общем их падении на всей рассматриваемой площади. Зоны со значимыми значениями, которая программа обозначила стрелками присутствуют лишь в

зоне складирования, где они практически направлены сверху вниз, и в зоне питания водоемов, причем наиболее активная зона теперь находится в районе основного течения протоки Быстрой – наиболее близкого водотока к оставшимся в эксплуатации рабочим картам.

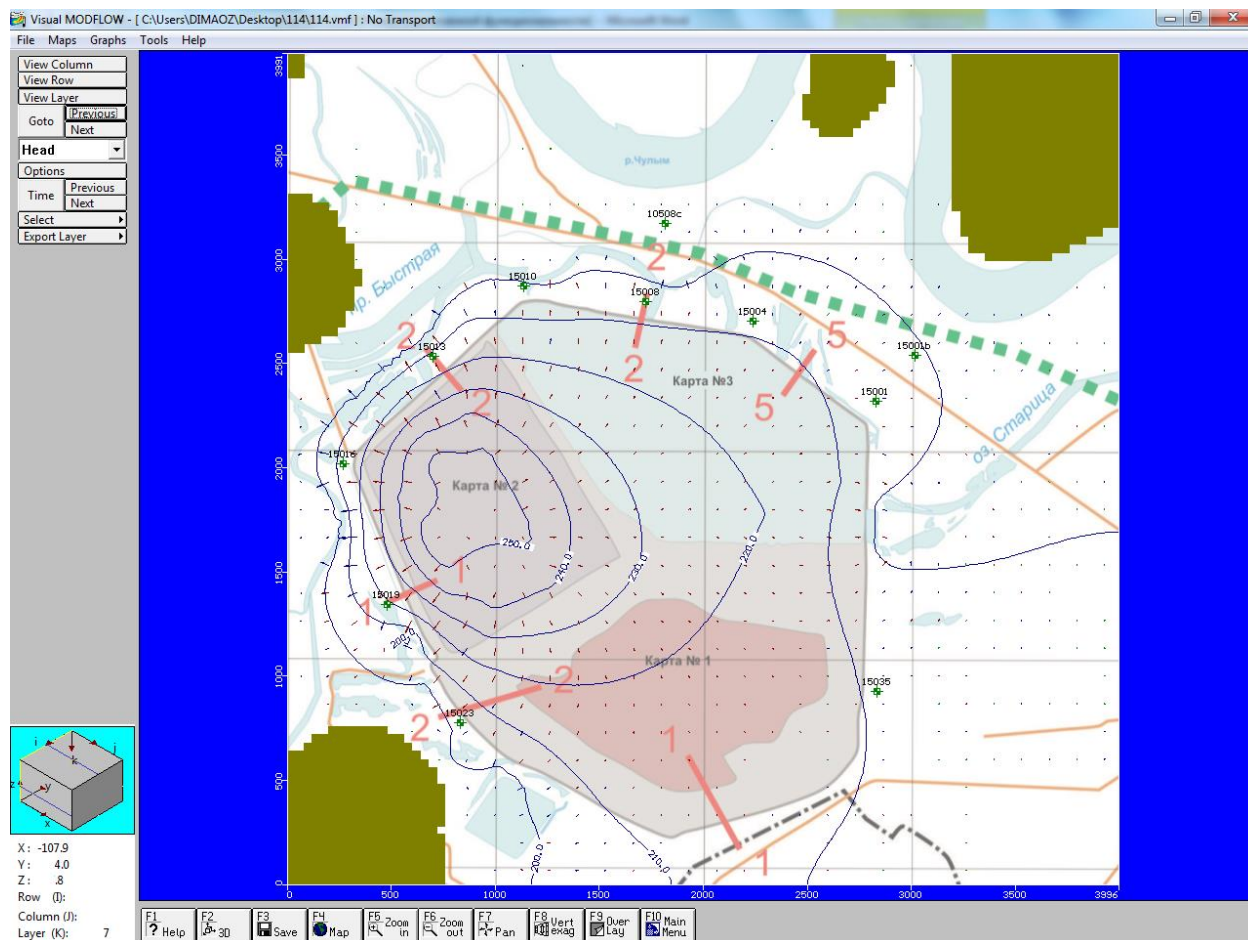


Рисунок 5.4 - Общее снижение скоростей течения подземных вод в массиве

И, напротив, в направлении оз. Старица и р. Чулым вектора скорости минимальны. Т.е. можно предположить, что введение в эксплуатацию дренажной канавы и карты № 3 с экранированным основанием и осушение карты № 1 может практически снять гидрогеодинамическое напряжение в горизонте аллювиальных четвертичных отложений и сократить влияние шламохранилища на состав вод в главном водном объекте Ачинского района – р. Чулым.

Для полного исключения такого воздействия необходимо продолжить работу по исключению питания всех водотоков территории и подземных вод за пределами площадки предприятия, что вполне можно осуществить

устройством скважинного дренажа на отдалении от проектируемой дренажной канавы, создав, таким образом, комплексную систему улавливания загрязненных вод. Возможность создания такой системы необходимо изучить на основании изысканий, которые можно будет проводить только по установлению стационарного гидрогеологического режима после проведения всех строительных мероприятий по устройству дренажной канавы.

6 Анализ и оценка риска аварий ГТС шламохранилища

В состав ГТС карты № 2 ШХ входят:

- ограждающие дамбы ярусов наращивания и пионерная;
- водоотводная зона;
- разводящие шламопроводы, укладываемые по периметру дамб;
- боковые выпуски шлама через 80 м по длине шламопроводов;
- водосбросные колодцы шахтного типа;
- водосбросные коллекторы;
- сооружения системы дренажа.

В основании карты № 2 уложен противодиффузионный экран из полиэтиленовой пленки.

Шламохранилище по рельефу местности относится к равнинному типу; по конструкции - к II типу (с дамбами из шламового материала). Площадь карты № 2 - 115 га (в осях ограждающей дамбы). Карта № 2 ШХ АГК располагается в юго-западной части шламового поля. С восточной стороны карта № 2 примыкает к действующей карте № 1, с северной - к карте № 3.

Карта № 2 запроектирована на складирование 48 млн. т шлама и золы в течение 6-8 лет при коэффициенте заполнения 0,9. ГТС карты № 2 при намыве ее до отметки 246,0 м относятся к II классу.

Сооружением, образующим напорный фронт секции № 2, является пионерная дамба, а также дамбы ярусов наращивания, возводимые из свежих шламов. Шламохранилище расположено на расстоянии 0,4 км к северу от основной промплощадки комбината.

На площадке карты № 2 имелись заиленные бывшие старицы и оз. Подкова. В прошлые годы на карте № 2 был произведен замыв естественного ложа шламом до отметок 196,0 -198,0 м на 70 % площади для выравнивания основания перед устройством экрана.

Основными внешними причинами, способными вызвать чрезвычайные ситуации на сооружении, могут быть следующие природные и техногенные воздействия:

- сверхрасчетное землетрясение;
- сверхрасчетные неблагоприятные природные явления (ливень большой интенсивности и протяженности; обильное снеготаяние и др.);
- авария с образованием волны прорыва на ограждающих дамбах примыкающих карт;
- воздействие на шахтные водосбросы ледовых нагрузок;
- изменение температуры в зимний период (процесс замерзания-оттаивания).

К внутренним причинам аварий дамбы относятся:

- потеря устойчивости низового откоса дамбы;
- потеря фильтрационной прочности грунтов тела дамбы;
- перелив воды через гребень дамбы.

Аварии на шламопроводах, связанные с их разрушением вне границ шламохранилища, а также отказы оборудования насосной станции не приведут к возникновению и развитию аварийной ситуации, поскольку на станции за работой системы гидротранспорта и ее элементов ведется надлежащий ежедневный контроль, позволяющий своевременно обнаружить и устранить возникновение повреждений в системе, а проектом предусмотрено резервное оборудование насосной станции.

Выполненный анализ факторов, обуславливающих возможные аварии ГТС карты № 2, и результаты оценки конструкций сооружений позволили идентифицировать следующие сценарии возникновения и развития аварий, способных привести к ЧС:

- отказ ограждающей дамбы (сценарий А1);
- отказ водоотводных сооружений системы гидротранспорта (сценарий А2).

Блок-схема анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварий ГТС секции № 2 шламохранилища АГК приведена на рис. 6.1.

Анализ исполнительной и проектной документации, результатов выполненных расчетов по обоснованию конструкции дамбы, опыт эксплуатации аналогичных объектов позволяют идентифицировать следующие возможные причины отказа сооружений карты № 2 ШХ АГК - сценарий А1.

- потеря устойчивости низового откоса ограждающей дамбы;
- нарушение фильтрационной прочности грунтов тела дамбы;
- перелив воды через гребень дамбы.

Возможными причинами отказа системы гидротранспорта карты № 2 - сценарий А2 - являются:

- разрушение золошлакопроводов в границах карты № 2;
- повреждение шахтных водосбросных колодцев;
- отказ отводящего коллектора осветленной воды;
- нарушение технологии заполнения карты № 2.

На рис. 6.2 представлен логический причинно-следственный граф - «дерево отказов» для сценария А1 (отказ ограждающей дамбы), построенный с учетом практически всех возможных внешних воздействий и внутренних опасностей на карте № 2 ШХ.

Внешние воздействия учтены в «дереве отказов» в виде событий, связанных со сверхрасчетным снеготаянием и интенсивными осадками, а также возможными ледовыми нагрузками на водосбросные сооружения осветленной воды в зимний период.

Развитие аварийного процесса по сценарию А1 характеризует максимальную по уровню риска аварию ГТС карты № 2 шламохранилища. Наиболее вероятными представляются две ветви «дерева отказов» (см. рис. 6.2), по которым разрушение ограждающей дамбы проходит вследствие:

- перелива воды через гребень дамбы;

- потери фильтрационной прочности тела ограждающей дамбы в районе шахтного колодца.



Рисунок 6.1 Блок-схема развития аварийного процесса для сценариев А1 и А2 на карте № 2 шламохранилища

Намеченные пути развития возможных аварий ГТС карты № 2 шламохранилища подтверждаются выполненными расчетами по обоснованию конструкции. Для указанных наиболее вероятных путей развития аварий выполнены расчеты волны прорыва и определена зона затопления в результате отказа ограждающей дамбы карты № 2 с последующим обрушением дамбы карты № 3 и аварийным затоплением территории.

Развитие аварийного процесса по сценарию А2 в конечном итоге приводит к сценарию А1, т. е. к разрушению ограждающей дамбы карты № 2, поэтому схема аварийного процесса по сценарию А2 совмещена со схемой сценария А1, а в «дерево отказов» для сценария А1 включены все возможные отказы конструкций и отдельных элементов системы гидротранспорта, приводящие к возникновению аварии или ЧС.

Качественная оценка риска различных сценариев возникновения и развития аварий ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК выполнена на основе анализа факторов, обуславливающих возможные аварии

на декларируемом объекте. Проведенный экспертным путем анализ позволил на качественном уровне ранжировать по уровню риска основные сценарии возможных аварий на карте № 2. Наиболее вероятной и имеющей максимальные последствия является авария, связанная с разрушением ограждающей дамбы карты № 2 с последующим разрушением ограждающей дамбы карты № 3 (сценарий А1), вызванная нарушением фильтрационной прочности тела дамбы, потерей устойчивости откосов дамбы или переливом воды через гребень дамбы карты № 2 в районе расположения шахтных колодцев.

При оценке экспертным путем, учитывая, что определяется вероятность аварии сооружения, указанные причины возникновения возможной аварии приняты равновероятными.

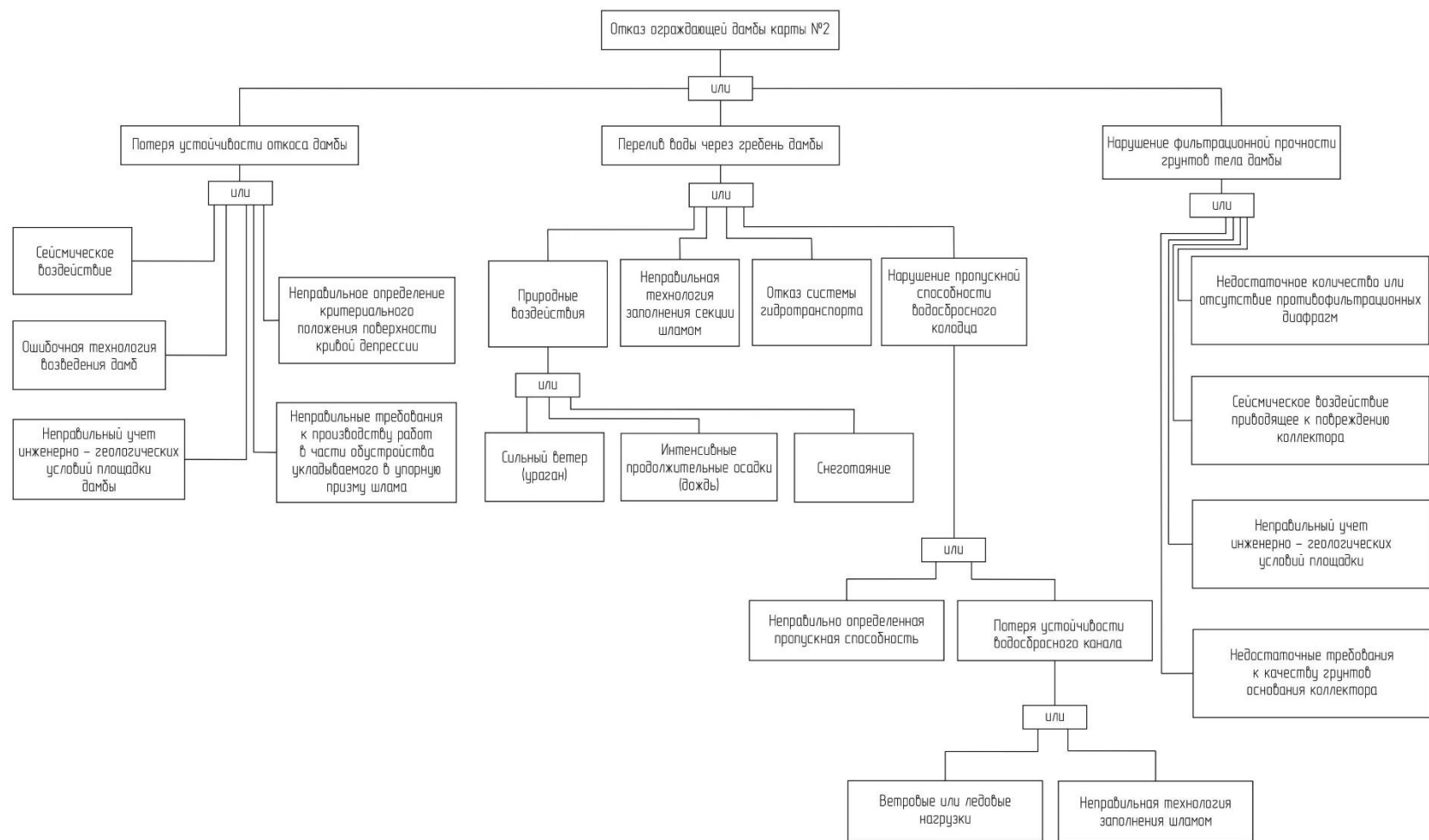


Рисунок 6.2 «Дерево отказов» ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища

Вероятность реализации наиболее опасного по последствиям сценария возникновения и развития аварии на карте № 2 (сценарий А1 – отказ ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК) определялась по методике, изложенной в Стандарте предприятия ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

На основе выполненных расчетов получены значения среднегодовых вероятностей отказов ограждающей дамбы карты № 2 по трем основным причинам:

- 1) потеря устойчивости откосов дамбы - $P_{ss} \approx 10^{-4}$ 1/год;
- 2) нарушение фильтрационной прочности грунтов тела дамбы - $P_{EE} \approx 10^{-4}$ 1/год;
- 3) нарушение фильтрационной прочности грунтов основания дамбы - $P_{FE} \approx 10^{-5}$ 1/год.

Очевидно, что из трех основных возможных причин отказа ограждающей дамбы наиболее вероятными являются нарушение фильтрационной прочности тела дамбы и потеря устойчивости откосов дамб, как имеющие наибольшую ожидаемую частоту аварий в год. Поэтому в качестве окончательной величины среднегодовой вероятности реализации аварии по сценарию А1 (отказ ограждающей дамбы) принимается суммарная величина частоты отказа тела дамбы по причине нарушения фильтрационной прочности и устойчивости откосов $P_{A1} = P_{EE} + P_{ss} = 10^{-4}$ 1/год, что подтверждается ранее выполненной оценкой риска возможных на ограждающей дамбе карты № 2 аварий.

Для оценки вероятности отказов элементов системы гидротранспорта на экспертном уровне использовались данные, полученные в результате анализа материалов по авариям и ЧС.

Выполненная качественная оценка риска возникновения аварии из-за отказа системы гидротранспорта выявила наиболее вероятные причины возникновения подобного события, а именно:

- нарушение в работе дренажной системы;
- нарушение в системе возврата осветленной воды, в том числе -
- нарушение в работе водосбросных колодцев.

Суммарная вероятность отказа системы гидротранспорта по указанным причинам с учетом специфики проектируемого сооружения оценивается экспертным путем как $P_{A2} = 10^{-3}$, что соответствует среднегодовой величине частоты реализации возможной аварии $P_{A2} = 10^{-5}$ 1/год, поэтому за итоговую среднегодовую частоту возникновения возможной аварии карты № 2 шламохранилища принимается величина $PA1 = 10^{-4}$ 1/год, что соответствует среднегодовой допускаемой вероятности аварий для сооружений II класса, которая составляет $5,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

Использование алгоритма оценки вероятности отказа ГТС карты № 2 шламохранилища АГК по методике, изложенной в СТП ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, позволило получить численные значения среднегодовой частоты отказа ГТС карты № 2 и сравнить полученные величины с допускаемой вероятностью возникновения аварий на сооружениях.

Выполненные расчеты по обоснованию конструкции дамбы карты № 2 шламохранилища АГК, а также проведенная качественная и количественная оценка риска возникновения развития различных сценариев возможных аварий сооружений позволили сделать следующие выводы: наиболее вероятной и наиболее опасной, т. е. имеющей максимальные последствия, является авария, связанная с разрушением ограждающей дамбы карты № 2 шламохранилища АГК, вследствие нарушения фильтрационной прочности тела дамбы, потери устойчивости откосов или перелива через гребень ограждающей дамбы; поскольку возможные аварии рассматриваются для проектируемого сооружения, для которого факторы, влияющие на вероятность возникновения аварии, учтены в полном объеме, вероятности реализации аварии по причинам нарушения фильтрационной прочности тела дамбы, потери устойчивости откосов или перелива через гребень дамбы

являются величинами одного порядка, близкими по значению друг другу; среднегодовая частота реализации такой аварии составляет $P_{Ai} = 10^{-4}$ 1/год что меньше нормируемой среднегодовой вероятности аварий для сооружения II класса, которая составляет $5,0 \cdot 10^{-4}$ 1/год; возможная авария на карте № 2 шламохранилища АГК с учетом числа пострадавших, размера материального ущерба и зоны распространения относится к локальной чрезвычайной ситуации.

Все вышеизложенное позволяет считать риск возникновения аварии на ГТС шламохранилища приемлемым, а уровень безопасности сооружения - нормальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На площадке шламохранилища развиты различные генетические типы подземных вод.

Подземные воды, развитые в техногенных шламовых отложениях, по периметру карт № 1 и № 2 вскрывается скважинами на глубине 1,0 – 5,5 м. Водовмещающими грунтами служат сцементированные шламы различной прочности. Химический состав шламовых подземных вод техногенного водоносного горизонта карбонатно-гидрокарбонатный натриево – калиевый. Воды с высокой щелочной реакцией (РН 11,49 – 12,64).

Подземные воды, развитые в аллювиальных отложениях поймы, первой и второй надпойменных террасах р. Чулым; Появившийся уровень аллювиальных грунтовых вод зафиксирован при бурении на глубинах 4,2 – 19,8 м и контролируется глубиной залегания аллювиальных песков. По химическому составу аллювиальная вода пресная гидрокарбонатно-сульфатная, щелочная рН – 8,53.

Нижняя граница развития подземного горизонта установлена условно, по лабораторным данным, при переходе суглинков и супесей от пластичных к твердым. Мощность «замоченных» элювиальных грунтов колеблется от 2,8 до 16,0 м.

Проницаемость грунтов аллювиального четвертичного водоносного горизонта, слагаемых песками (ИГЭ 6), гравелистыми песками (ИГЭ 7) и речными графиями и галечниками (ИГЭ 10) оценивается как водопроницаемая. В то же время, коэффициент фильтрации каждого грунта сильно ниже справочных значений, что говорит о физической и химической кольматации, связанной с воздействием подшламовых вод и повышенным давлением на грунты шламовым массивом.

Коэффициенты фильтрации аллювиальных грунтов, полученные по результатам опытно-фильтрационных работ, проведенных по периметру шламохранилища, согласно ГОСТ 25100-2011, классифицируются как: алевролит (ИГЭ 7) – неводопроницаемый; алевропесчаник (ИГЭ 7а) –

слабоводопроницаемые - водопроницаемые; песчаник (ИГЭ 9) – водопроницаемые – сильноводопроницаемые.

Результаты математического моделирования показывают, что при разработке проектных решений системы перехвата фильтрационных вод шламохранилища, основным параметром, влияющим на эффективность ее работы, является глубина дренажной канавы. Обводная дренажная канава, расположенная вокруг всего шламового поля кроме южного участка карты № 1, способна обеспечить перехват 50% дренирующих через дамбы вод в случае ее врезки в водоносный четвертичный аллювиальный горизонт через перекрывающие его слабоводопроницаемые суглинки.

По результатам плоско-вертикального моделирования фильтрации через ограждающую дамбу шламохранилища были определены пределы улавливания подшламовых вод в характерных сечениях по характеристикам, установленным в ходе полевых откачек. Графическим способом определен примерный расход в дренаже трехметровой глубины при утечках из всех трех карт, который составил 4,3 тыс. м³/сут, что составило 29% всей фильтрации. Более эффективной признается канава большей глубины, прорезающая перекрывающие водоносный горизонт суглинки, глубиной 6 – 7 м, способная уловить до 53% общего расхода, что численно выражается в 7,8 тыс. м³/сут.

Коэффициент запаса устойчивости получился равный 1,65, что свидетельствует о устойчивости борта шламохранилища карты №2 сечение 1-1.

Все вышеизложенное позволяет считать риск возникновения аварии на ГТС шламохранилища приемлемым, а уровень безопасности сооружения - нормальным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 1980.
2. Гончаров, Ю. М. Гидротехнические сооружения на мелиоративных системах: научное изд. / Ю. М. Гончаров. – Красноярск: Издательство КрасГАУ, 2010. – 491с
3. Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противofiltrационных устройств гидротехнических сооружений: диссертация. / А. В. Исаев. / Санкт-Петербург, 2010.- 325 с.
4. Караулов, В.А. Отчет «Проведение мониторинга состояния недр включающего составление гидродинамической карты района шламового и мазутного хозяйств ОАО «РУСАЛ Ачинск». ЗАО «МОНИТЭК». Красноярск, 2010 г.
5. Кузнецов, Г. И. Накопители промышленных отходов: учеб. Пособие / Г. И. Кузнецов, Н. В. Балацкая, Д. А. Озерский. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 180с.
6. Кузнецов Г.И. Геоэкология. Защита окружающей среды: учеб. Пособие Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В. – Красноярск: Сибирский Федеральный университет; Политехнический институт, 2007.-129с.
7. Кузнецов Г.И. Экология промышленных накопителей. Приток воды в карьер. Фильтрация промышленных стоков из накопителя: Метод. указания Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005.-32с.
8. Кузнецов, Г. И. Основы природоохранной гидротехники: учеб. Пособие / Г. И. Кузнецов, Н. В. Балацкая, Ю. М. Гончаров. – Красноярск: ИПК СФУ, 2011. – 315с.
9. Ломакин Е.А. Численное моделирование геофильтрации. / Е.А. Ломакин, В.А. Мироненко, В.М. Шестаков – М: Недра, 1988.
10. Озерский, Д. А., Балацкая Н. В., Кузнецов Г. И., Технический отчет «Оценка влияния воздействия шламохранилища на гидрогеологический

режим в основании сооружения и на прилегающей местности». – Красноярск: ЗАО «МОНИТЭК», 2011. – 70с.

11. Панов, Е. А. Отчет "Организация мониторинга качества подземных вод на объектах складирования производственных отходов ОАО "Ачинский глиноземный комбинат". ЗАО "МОНИТЭК". Красноярск, 2002.

12. Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности, ВНИИ ВОДГЕО.-М.: Стройиздат, 1986 г. 128 с

13. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика/ Минстрой России – Москва: ГП ЦПП, 1996. – 140с.

14. СНиП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. утв. приказом Министерством регионального развития РФ от 29.12.2011. – 635/18

15. СТО 4.2-07-2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 57с.

16. Хамидуллина Е. А., Тимофеева С. С., Экспертиза промышленной безопасности: Метод. указания к практическим работам Хамидуллина Е. А., Тимофеева С. С.- Иркутск ИНИТУ, 2015 – 94с.

17. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика – М: Изд-во Московского университета, 1995 г.

18. Электронный ресурс: [http:// www.google.ru/maps/](http://www.google.ru/maps/)